

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Zvýšení produktivity feritových jader

Rationalization of Productivity Ferrite Cores

Student:

Hana Niederlová

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2012

Zadání bakalářské práce

Student:

Hana Niederlová

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Zvýšení produktivity feritových jader
Rationalization of Productivity Ferrite Cores

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Problematika obrábění feritových ocelí.
3. Návrh nového řešení vybraných součástí.
4. Diskuze experimentů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] HAVRILA, M.; ZAJAC, J.; BRYCHTA, J.; JURKO, J. *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [5] VASILKO, K.; HAVRILA, M.; MARCINCIN-NOVÁK, J.; MÁDL, J.; ZAJAC, J. *Top trendy v obrábění, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80-968954-2-7.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřisežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21.05.2012

.....*Nederlora'*.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21.05.2012

Niederlová
.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Hana Niederlová

Adresa trvalého pobytu autora práce: Libina 664

78805 Libina

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

NIEDERLOVÁ, H. *Zvýšení produktivity feritových jader : bakalářská práce.* Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2012, 53 s. Vedoucí práce: Vrba, V.

Bakalářská práce je zaměřena na zvýšení produktivity feritových jader. Zkoumá při jak velké deformaci feritových jader typu P36, již nelze jedním průchodem brouscího stroje zaručit kvalitně nabroušenou stykovou plochu. V teoretické části je představena firma, ve které byl experiment prováděn. Dále je popsána problematika obrábění feritových jader. V experimentální části jsou uvedeny postupy a naměřené hodnoty. Následuje technicko-ekonomické zhodnocení.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

NIEDERLOVÁ, H. *Rationalization of Productivity Ferrite Cores : Bachelor Thesis.* Ostrava : VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2012, 53 p. Thesis head: Vrba, V.

Bachelor thesis is focused on rationalization of productivity of ferrite cores. Finds limits of deformation ferrites cores, when only one passage through grinding machine can't successfully ground mating surface of P36 cores. Company where was experiment done is introduced in theoretical part. Further are described problems of production of ferrite cores. Experimental part shows processes of tests and measured value. Finally in last part is technical and economical assessment.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	7
Úvod	9
1 Obecná charakteristika daného problému	10
1.1 Firma EPCOS s.r.o.....	10
1.1.1 Hlavní použití feritů.....	13
2 Problematika obrábění feritových jader	14
2.1 Ferity	14
2.1.1 Vlastnosti feritových jader.....	14
2.1.2 Rozdělení feritů.....	15
2.1.3 Technologie výroby feritů	16
2.2 Ferity vyráběné ve firmě EPCOS s.r.o	17
2.2.1 Elektrotechnické funkce feritů.....	17
2.2.2 Elektrické veličiny	20
2.2.3 Elektromagnetické vlastnosti	21
2.3 Broušení	24
2.3.1 Podstata metody	24
2.3.2 Základní metody	25
2.3.3 Chladicí kapaliny	25
2.3.4 Řezné podmínky	26
2.3.5 Dosahované parametry	26
3 Návrh nového řešení vybraných součástí	27
3.1 Příčiny vzniku deformací feritových jader po výpalu	31
4 Diskuse experimentu.....	34
5 Technicko-ekonomické zhodnocení.....	49
6 Závěr	51
Seznam použitých pramenů	52

Seznam použitých značek a symbolů

A_L	součinitel indukčnosti [H]
AQL	Acceptable Quality Limit – akceptovatelná úroveň kvality [-]
B	okamžitá hodnota indukce [T]
B_a	amplituda magnetické indukce [T]
B_r	remanentní indukce [T]
C_{pk}	index způsobilosti procesu [-]
H	okamžitá hodnota intenzity magnetického pole [$A.m^{-1}$]
H_a	amplituda intenzity magnetického pole [$A.m^{-1}$]
H_c	koercivita [$A.m^{-1}$]
IEC	International Electrotechnical Commission – Mezinárodní komise pro elektrotechniku [-]
IT	tolerance [-]
L	indukčnost měřicí cívky s jádrem [H]
LN	lisovací nástroj [-]
MAG	Magnetics – divize Magnetika [-]
N	počet závitů [-]
PPD	Piezo & Protection Device – divize Piezo a ochranných zařízení [-]
R_a	drsnost povrchu [μm]
S_k	průřez k-tého úseku jádra [m^2]
T_c	Curiova teplota [°C]
$TK_{\mu s}$	měrný teplotní činitel [K^{-1}]
f	kmitočet [Hz]
l_k	délka siločáry k-tého úseku jádra [m]
r_n	poloměr ostří [mm]
$tg \frac{\delta}{\mu_i}$	měrný ztrátový činitel [-]
α	činitel závitů [°]
α_o	ortogonální úhel hřbetu [°]

γ_o	ortogonální úhel čela [°]
Δ	rozptyl [%]
ηB	součinitel hysterezních ztrát [T^{-1}]
ϑ	magnetický tok [$m^2.kg.s^{-2}.A^{-1}$]
ϑ_c	mezní pracovní teplota [°C]
μ_a	amplitudová permeabilita [-]
μ_e	efektivní permeabilita [-]
μ_i	počáteční permeabilita [-]
μ_o	magnetická konstanta [$H.m^{-1}$]
ρ	rezistivita [$\Omega.m$]
v	Rayleighův hysterezí činitel [$A.m^{-1}$]

Úvod

Pro svoji bakalářskou práci jsem si vybrala firmu EPCOS s.r.o. Šumperk, která je významným výrobcem feritových jader a keramických pozistorů. Firma EPCOS s.r.o. je na trhu už 12 let, tedy myšleno od zahájení výroby v novém závodě, jinak historie firmy EPCOS A. G. sahá do roku 1989. Výrobu feritů lze rozčlenit dle jednotlivých procesů na fáze: výroba granulátu, lisování, výpal, broušení, povlakování, kontrola a balení.

Bakalářská práce je zaměřena na zvýšení produktivity feritových jader. Proto se tedy v bakalářské práci zaměříme na broušení feritových jader, protože z různých vlivů např. nehomogenity granulátu po lisování, různému rozložení hustoty v jádře, deformace výpalem a dalšími vlivy dochází k tvarové deformaci feritových jader a tomuto je potřeba zabránit. Velmi obtížné je dosáhnout nápravných opatření k omezení deformací jader před broušením a tedy proto se tento problém částečně řeší broušením. Feritová jádra musí být rovná, aby při kompletaci na sebe feritová jádra dosedla celou stykovou plochou a tím dobře uzavřela magnetický obvod. Dobré uzavření magnetického obvodu je důležité pro elektromagnetické parametry a proto se musí deformaci jader zabránit.

V experimentu tedy rozdělíme jádra dle deformace a necháme je nabrousit prvním průchodem broušicího stroje, abychom dno nejdříve zarovnali. Poté změříme A_L hodnoty a zjistíme elektromagnetické parametry nabroušených jader. Při experimentu necháme všechny parametry nastavení broušicího stroje stejné, aby nám nemohly ovlivnit hodnotu A_L . Po prvním měření provedeme opětovné broušení, ale tentokrát na konečný rozměr dle výkresové dokumentace. Po druhém průchodu opět změříme A_L hodnoty a následně provedeme i měření rozměrů, které budou již nabroušeny v rámci tolerancí daných výkresem jádra.

Cílem bakalářské práce je zjistit u feritových jader typu P36, kde je hranice kdy se musí na feritových jádrech provést dvojí broušení, aby došlo ke zlepšení elektromagnetických parametrů feritových jader.

1 Obecná charakteristika daného problému

Výrobky firmy EPCOS s.r.o (ferity a keramické pozistory) spadají do dvou divizí a to feritová jádra do divize „Magnetics“ (MAG) a keramické pozistory do divize „Piezo & Protection Devices“ (PPD). Má bakalářská práce se zabývá zvýšením produktivity feritových jader, tedy se budu soustředit na divizi Magnetics. Výroba feritových jader zde prochází celým výrobním procesem, tedy od přípravy granulátu, přes lisování, výpal, až k samotnému broušení, následné optické kontrole a balení. V bakalářské práci se budu věnovat broušení feritových jader.

1.1 Firma EPCOS s.r.o.

V ČSSR bylo započato s průmyslovou výrobou feritů v roce 1956 ve firmě Pramet a.s. Šumperk. Název podniku vznikl ze spojení slov prášková a metalurgie. Výzkum materiálu prováděl Výzkumný ústav pro elektronickou fyziku v Praze. Se započatím průmyslové výroby byla rovněž vytvořena vývojová skupina, která ze začátku řešila technologické problémy a později po vytvoření Výzkumného ústavu pro práškovou metalurgii začala s výzkumem materiálu. Velkým problémem, který byl zvládnut, byl výpal manganato-zinečnatého feritu v řízené atmosféře. V roce 1999 provedla německá firma EPCOS A. G. akvizici té části výroby společnosti Pramet a. s. Šumperk, která produkovala feritová jádra. [1]

Historie firmy EPCOS s.r.o. sahá do roku 1989, kdy vznikl společný podnik Siemens Matsushita Components A. G. se sídlem v Mnichově. Tato firma se v roce 1999 přejmenovala na EPCOS A. G. (Electronic Parts and Components). Jedním z cílů bylo vytvořit v Šumperku evropské centrum pro výrobu feritů z magneticky měkkých materiálů, a ještě v roce 1999 vznikla dceřinná společnost EPCOS s.r.o. Na zelené louce v roce 2000 byla dokončena výstavba nových výrobních hal, určených pro převzetí výrobních technologií na výrobu širokého sortimentu feritů a dalších elektronických součástek. V následujících letech 2000 až 2006 tak došlo k relokační výrobních zařízení z Mnichova a Bordeaux. V roce 2009 japonská firma TDK provedla akvizici celé firmy Epcos A. G. nejprve pod společným názvem TDK-EPC a od roku 2010 jsou veškeré divize začleněny do koncernu TDK. [2]

Firma EPCOS s.r.o., je významný výrobce feritových jader a keramických pozistorů. Společně s dalšími divizemi zabývajícími se výrobou kondenzátorů, foliových

kondenzátorů, keramických součástek, indukčností, součástek s povrchovou akustickou vlnou, tvoří součást nadnárodní akciové společnosti EPCOS A. G. Jednotlivé divize této společnosti jsou rozmístěny na kontinentech Evropa, Amerika a Asie. [2]

Výrobu lze rozčlenit podle jednotlivých procesů na fáze: výroba granulátu, lisování, výpal, broušení, povlakování, kontrola a balení. Ve výrobním programu firmy EPCOS s.r.o. je přibližně 2000 druhů feritů a přes tři tisíce druhů pozistorů. Firma EPCOS s.r.o. rozšiřuje své výrobky o více než 20 nových tvarů ročně. [2]

Firma je držitelem certifikátu EN ISO 14001:1996 a ISO/TS 16942:2002, které jsou nezbytné pro uskutečňování dodávek pro automobilový průmysl. Prioritou firmy je uspokojování očekávání, přání a požadavků zákazníků vysokou kvalitou svých výrobků a služeb. Politika jakosti je proto součástí podnikové politiky EPCOS s.r.o. [2]



Obr.1 Hlavní budova firmy TDK (EPCOS s.r.o) [3]



Obr.2 Snímek firmy z leteckého pohledu [2]

Výrobky firmy:



Obr.3 Ferity a feritové příslušenství [4]



Obr.4 Keramické komponenty – (pozistory) [4]

1.1.1 Hlavní použití feritů

Průmyslové aplikace

- Konvertory/převodníky AC/DC a disky
- Větrné elektrárny
- Přepínací zdroje napájení
- Energeticky úsporné lampy, žárovky a stabilizátory [4]



Obr.5 Průmyslové aplikace [4]

Telekomunikace

- ISDN/xDSL/ADSL karty a modemy
- Základnové stanice pro bezdrátové telefony
- Mobilní telefony
- Zdroje napětí (DC/DC konvertory)
- Senzory pro parkovací systémy (PDC) [4]



Obr.6 Telekomunikace [4]

Automobilové aplikace

- CAN sběrnice a FlexRay systémy
- Monitorovací systémy tlaku v pneumatikách (TPMS)
- Systémy Passive Entry & Start (PEPS) [4]



Obr.7 Automobilové aplikace [4]

Spotřebitelské aplikace / elektr. zpracování dat

- Přenosné přístroje (MP3, GPS, PDA)
- Bílé zboží
- Notebooky/disky
- Napáječe a DC/DC konvertory [4]



Obr.8 Spotřebitelské aplikace [4]

2 Problematika obrábění feritových jader

2.1 Ferity

Ferity patří do skupiny elektromagnetických materiálů keramického charakteru se spinelovou strukturou. Ferity jsou magnetické oxidické materiály (keramika) odvozené z oxidu železitého Fe_2O_3 . Magnetismus je dán nevyváženým antiparalelním uspořádáním magnetických momentů v doménách (ferimagnetika). Ferity podle krystalové mřížky se podobají nerostům jako je spinel, granát nebo mají hexagonální uspořádání atomů. Jejich krystalové mřížky jsou velmi složité. Spinelová mřížka je tvořena kombinací iontů oxidu železitého a iontů oxidů dvojmocných kovů Mn, Ni, Zn, Mg atd.. Pro dosažení optimálních vlastností mohou feritové materiály obsahovat malé množství Co, Ti, Ca, Si apod.. Přirozená barva feritů je tmavošedá až černá. [5], [6]

Obecný vzorec: $MeO \cdot Fe_2O_3$ alias $Me^{2+}O^{2-} \cdot 2Fe^{3+}3O^{2-}$, kde Me^{2+} mohou být:

Mn, Ni, Zn, Mg, Cd, Cu, Fe, Co, Ba, Sr a další prvky [6]

2.1.1 Vlastnosti feritových jader

- vysoká rezistivita ($10^2 \div 10^{10} \Omega \cdot cm$)
- jsou odolné proti vodě, mořské vodě, slabým kyselinám a zásadám
- nízká teplotní vodivost
- jsou dokonale homogenní
- nízká magnetizace nasycení
- záporný teplotní součinitel rezistivity
- struktura typu nerostu spinel ($MgO \cdot Al_2O_3$) – složitý typ kubické mřížky
- magnetické vlastnosti – vliv spinů d-elektronů iontů tranzitivních kovů
- nízké ztráty elektromagnetické energie, malé ztráty vířivými proudy
- vliv rozdělení kationtů
- sloučeniny oxidů Fe s oxidy některých kovů
- materiály neobsahují vzdušnou vlhkost [5],[6]

2.1.2 Rozdělení feritů

a) Magneticky měkké ferity s okrouhlou hysterezní smyčkou

(Me – Ni, Mn, Zn, Mg, Fe, Cu, Li, Co).

Vlastnosti - vysoká strukturní a fázová citlivost na magnetické vlastnosti

Aplikace - radiotechnika v rozsahu frekvencí 100 Hz až 100 MHz

- magnetostrikční materiály pro přeměnu elektromagn. energie a mechanických kmitů [6]

b) Magneticky tvrdé ferity

(Me – Co, Sr, Ba, Pb)

Vlastnosti - nižší B_r , vysoká H_c , rezistivita $\sim 10^9 \Omega \cdot cm$, křehké.

Aplikace - rotory, statory stejnosměrných a asynchronních motorků, trvalé magnety [6]

c) Ferity s pravoúhlou hysterezní smyčkou

(Me – Mn, Mg)

Vlastnosti - velmi malá doba přemagnetování

- vysoký činitel pravoúhlosti

Aplikace: - výpočetní technika (paměťové prvky) [6]

d) Magneticky měkké ferity pro velmi vysoké frekvence

(Me - Ni+Cu, Ni+Zn, Mg+Mn, Y_2O_3)

Požadavky - vysoká rezistivita $10^8 \div 10^{11} \Omega \cdot cm$ (snížení magnetických ztrát)

- vysoká hustota

- v oblasti pracovních frekvencí vysoká citlivost

- stabilita vlastností v daném teplotním intervalu

Aplikace - vlnovody [6]

e) Monokrystalické ferity a jejich vrstvy

Vlastnosti - vysoká hustota

- feromagnetická rezonance

- homogenní struktura

- nízká krystalografická anizotropie [6]

2.1.3 Technologie výroby feritů

– feritový prášek

Ferity se svým charakterem blíží keramice, mají vysokou tvrdost a křehkost. Zpracování feritů vyžaduje velmi čisté suroviny, oxidů příslušných kovů. Obsah nečistot nesmí přesáhnout 0,2 %, obzvláště škodlivá je přítomnost „feritových jedů“ Si, Ba a Na. Technologický proces výroby sestává z míchání základních surovin. Suroviny se melou a mísí v kulových mlýnech. Prášek se podrobuje kalcinaci po vysušení, což je vypalování v elektrických tunelových pecích za teploty 900 °C až 1100 °C, kdy dochází k prodifundování aniontů a kationtů a tím ke vzniku zárodků feritových zrn. Hrudky vzniklé se drtí a třídí podle velikosti zrn. Velké zrno zvětšuje ztráty vířivými proudy, naopak příliš malé zrno snižuje permeabilitu. Při homogenní velikosti zrn a malé pórovitosti se dosahuje dobré jakosti feritů. Směs se mísí s pojivem a lisuje na požadovaný tvar. Při návrhu součástek z feritu je dobré vyhýbat se náhlým změnám průřezu, které dělají potíže při lisování. Mezery, štěrby lze lisovat pouze ve směru rovnoběžném se směrem lisovacího tlaku. Větší pevnost zaručuje stejnorodý průřez a vylučuje větší deformace tvaru, vznikající při výpalu nerovnoměrným smršťováním. Vylisované součástky se vypalují v plynových pecích. Výpalem vzniká smrštění cca 20 %. Je způsobeno různými faktory a nelze přesně stanovit. Z tohoto důvodu jsou rozměrové tolerance feritových výrobků větší. Při výpalu jsou jádra slinována při teplotách okolo 1400 °C. Lze ovlivnit tvar hysterezní smyčky termo-magnetickým zpracováním. Ochlazením v magnetickém poli lze získat smyčku s konstantní permeabilitou nebo naopak pravoúhlou. Výrobky vypálené lze opracovat pouze broušením, řezáním diamantovou pilou nebo obrábět ultrazvukem. Obrábět ferity je velmi obtížné, neboť jsou velmi křehké a tvrdé. Broušení se zhotovuje brusnými kotouči, segmenty nebo práškem na bázi SiC, nebo diamantu. U broušení nesmí dojít k lokálnímu přehřátí, jinak dochází k praskání součásti tzv. termopraskliny. Je nutné používat malé úběry a silné chlazení vodou. U broušením se dosahuje drsnosti 0,5 μm . Broušená feritová jádra lze dobře lepit epoxidovými pryskyřicemi, musí však být dobře odmaštěna. [1], [5], [6]

Výchozí suroviny: Fe_2O_3 + oxidy CaO, MgO, ZnO, CoO, SiO_2 , PbO, TiO_2

nebo karbonáty (uhličitany) CaCO_3 , MnCO_3 , Li_2CO_3 [6]

Postup výroby: 1. míchání v kulových mlýnech za mokra (velikost prášků $\sim 5 \div 10 \mu m$)
2. sušení
3. kalcinace (tepelný rozklad) při $800 \div 1000^\circ C$ (vznik feritické struktury)
4. mletí za mokra (velikost prášku $\sim 45 - 315 \mu m$)
5. sušení
6. tvarování (lisování, protlačování)
7. vypalování při $1100 \div 1400^\circ C$ (velké smrštění až 20 %)
8. povrchové opracování (broušení, řezání diamantem).
9. povlakování [6]

2.2 Ferity vyráběné ve firmě EPCOS s.r.o

Ve firmě Epos s.r.o se vyrábí feritová jádra, která se dělí podle chemického složení do dvou skupin:

1. Manganato-zinečnaté ferity (Mn, Zn) $O.Fe_2O_3$
2. Nikelnato-zinečnaté ferity (Ni, Zn) $O.Fe_2O_3$

2.2.1 Elektrotechnické funkce feritů

Střídavý proud prochází cívkou navinutou na feromagnetickém jádru uvnitř jádra vzniká magnetické pole, jež jako vedlejší produkt vede ke vzniku vířivých proudů, které se projevují jako ztráta energie. Tato ztráta je do značné míry ovlivněna odporem materiálu jádra. Tento vliv je poněkud omezen, když jádro není kompaktní celek, ale je složené z lamel, při čemž jsou jednotlivé lamely od sebe vzájemně odizolovány. Tím je omezena dráha vířivých proudů. V případě určitého kmitočtu a magnetické indukce lze omezit ztráty vířivými proudy dvěma způsoby:

- a, zmenšováním tloušťky lamel (plechů)
- b, zvýšením měrného odporu materiálu

U prvního způsobu hrají důležitou úlohu výrobní náklady, které se snižující se tloušťkou plechu stoupají. Existuje tedy hranice tloušťky plechů, která je ještě ekonomicky přijatelná. Při snižování tloušťky plechů roste počet izolace a snižuje se faktor plnění. Vyráběné kovové feromagnetické materiály mají nízkou rezistivitu řádově

$10-10^2 \mu\Omega cm$. Nežádoucí úspěch měly pokusy o zvýšení rezistivity. Byl vykonán důležitý krok zavedením jader z feritového granulátu, a to zejména z karbonylového železa. Základem práškových feromagnetických materiálů jsou částičky kovů nebo slitin, vázané izolačním prostředím takovým způsobem, že jsou vzájemně odizolovány. Tahle metoda přinesla podstatné snížení ztrát vířivými proudy, ale také značné snížení permeability. Pokles permeability oproti kompaktnímu kovovému materiálu je způsobený pojivovou izolační hmotou, která se chová jako rozptýlená vzduchová mezera, kterou nelze zmenšit. Lze snížit ztráty vířivými proudy zmenšováním částiček feromagnetického materiálu a tím získat možnost pracovat na vyšších kmitočtech, a tento jev zapříčiňuje další snižování permeability. [1]

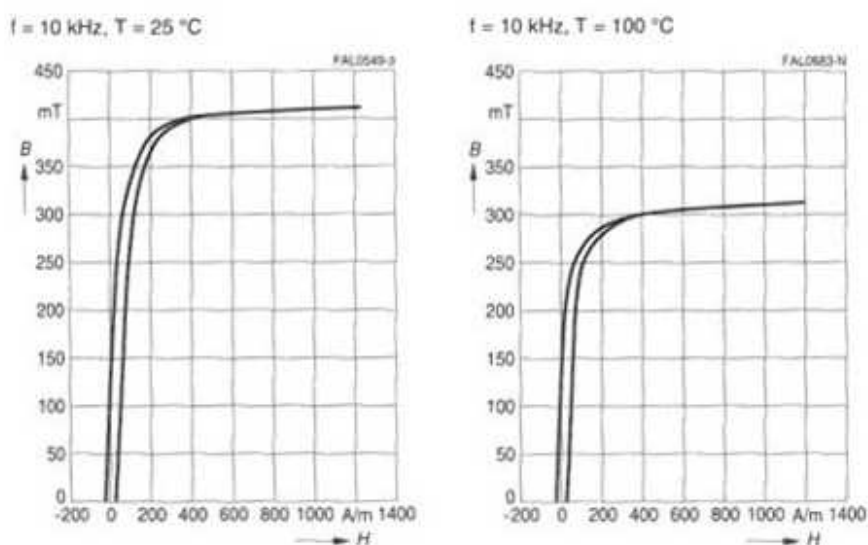
Následující bylo hledání materiálů s vysokou rezistivitou. Došlo se k nekovovým látkám, a to oxidům železa a feritovým materiálům. Poprvé se zdařilo připravit nekovovou hmotu s feromagnetickými vlastnostmi roku 1900 německému fyziku Hilpertovi. Materiál měl velmi vysokou rezistivitu ($10^5 - 10^7 \Omega cm$) a tedy zanedbatelné ztráty vířivými proudy, permeabilita byla nízká a celkové ztráty byly vysoké. První funkční ferity připravil v roce 1933 Snoek spékáním směsných krystalů feritů. Jeho materiály byly s vysokou rezistivitou $10-10^8 \Omega cm$ a s počáteční permeabilitou 10-3000. Manganatozinečnaté ferity doznaly největšího rozšíření. [1]

Specificky vysoký odpor feritů lze vysvětlit tím, že mají elektrony vázány valenčními silami. Narozdíl kovové feromagnetické materiály mají elektrony velmi volně vázané a pro jejich uvolnění z oběžných drah stačí nepatrná energie. Odtud tedy nízká rezistivita a vysoká vodivost, tím také vysoké ztráty vířivými proudy. [1]

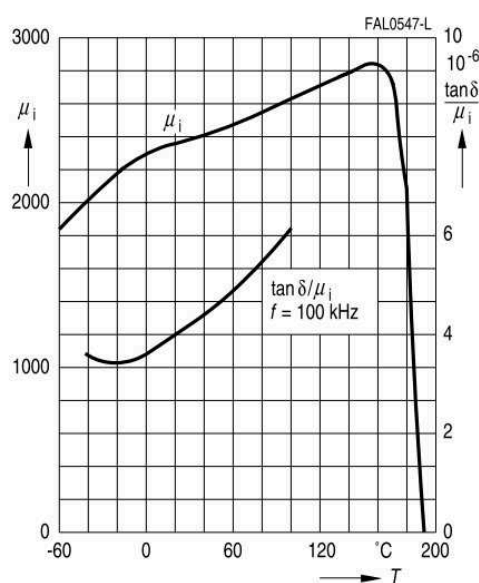
Na elektromagnetické vlastnosti magneticky měkkých feritů má nejpřísnější požadavky telekomunikační technika. Požaduje materiály s co největší permeabilitou, malým ztrátovým činitelem, malými hysterezními ztrátami atd. Tyto požadavky byly splněny zavedením výroby feritu Mn-Zn. U průmyslově vyráběných feritů je počáteční permeabilita μ_i od 10 do 10000. Součinitel teplotní počáteční permeability je u těchto materiálů snížen na $0,6 \cdot 10^{-6}$ K až $1,8 \cdot 10^{-6}$ K v teplotním rozsahu 20 °C až 60 °C, stabilita časová počáteční permeability je u materiálu s velkou počáteční permeabilitou ($\mu_i \approx 1000$) menší než $8 \cdot 10^{-6}$, u materiálu s malou permeabilitou ($\mu_i \approx 24$) menší než $50 \cdot 10^{-6}$, co je v souladu s potřebami telekomunikační techniky. [6]

Tab.1 Druhy a vlastnosti vybraných feritových materiálů (Databook firmy EPCOS s.r.o.) [7]

Druh	μ_i	H_c [A·m ⁻¹]	ρ [Ω·m]	T_c [°C]	Druh	μ_i	H_c [A·m ⁻¹]	ρ [Ω·m]	T_c [°C]
Ferity manganato-zinečnaté					Ferity nikelnato-zinečnaté				
M 33	750	26	3	>200	K 1	80	380	10 ⁻⁵	>400
N 87	2200	21	10	>210	K 10	800	40	10 ⁻⁵	>150
N 48	2300	26	3	>170	M 13	2300	180	1	>145
N 45	3800	15	11	>255					
N 30	4300	12	0,5	>130					
T 65	5200	12	0,3	>160					
T 35	6000	12	0,2	>130					
T 38	10000	8	0,1	>130					



Obr.9 Hysterezní křivky feritu typ N 48 a vliv teploty na jejich charakter. [7]



Obr.10 Závislost počáteční permeability a měrného ztrátového činitele na teplotě pro materiál N 48 [8]

2.2.2 Elektrické veličiny

Feritové materiály se vyrábí pro přenos informace a pro přenos výkonu. Rozdíl v zaručovaných elektromagnetických parametrech je následující:

a) U materiálů pro přenos informace je zaručována:

- Počáteční permeabilita μ_i , která je měřena při amplitudě magnetické indukce menší než 0,5 mT.
- Měrný teplotní činitel počáteční permeability $TK\mu_s$, který dává informaci o teplotní stabilitě v intervalu teplot 20–60 °C.
- Měrný ztrátový činitel $tg \frac{\delta}{\mu_i}$, měřený zpravidla při kmitočtu 0,1 MHz a amplitudě magnetické indukce menší než 0,5 mT.
- Součinitel hysterezních ztrát ηB , určuje přírůstek ztrát v závislosti na růstu amplitudy magnetické indukce.
- Mezní pracovní teplota. [1]

b) U materiálů pro přenos výkonu se užívá názvosloví dle doporučení mezinárodní komise pro elektrotechniku IEC.

- Amplitudová permeabilita μ_a
- Nejnižší zaručená amplituda (vrcholová hodnota) magnetické indukce B sinusového tvaru daného kmitočtu při dané vrcholové hodnotě intenzity magnetického pole H a teplotě 100 °C. Zpravidla se uvádí B_{\min} při $H = 250 \text{ A/m}$ a $\vartheta = 100 \text{ °C}$
- Nejvyšší měrné ztráty (u jádra celkové ztráty) při dané amplitudě magnetické indukce B_a , kmitočtu f a určité teplotě. Zpravidla to bývá $B_a = 0,2 \text{ T}$, $f = 15 \text{ kHz}$, $\vartheta = 23 \text{ °C}$ nebo teplotní interval 60–100 °C.
- Mezní pracovní teplota. [1]

Ve srovnání obou skupin feritových materiálů je zřejmé, že u materiálů pro přenos informace je výroba podřízena tomu, aby byly zajištěny parametry v oblasti počáteční permeability. U materiálů při přenosu výkonu není oblast počáteční permeability rozhodující, klade se požadavek na vysokou hodnotu indukce a nízké měrné ztráty při pracovní teplotě. [1]

2.2.3 Elektromagnetické vlastnosti

a) Permeabilita

V oblasti feritů se setkáváme s těmito druhy permeabilit: počáteční, efektivní, cívková, vratná, komplexní a amplitudová. [1]

- **Počáteční permeabilita μ_i**

je určená směrnicí tečny magnetizační charakteristiky v bodě $H = 0, B = 0$.

$$\mu_i = \frac{1}{\mu_o} \lim_{H \rightarrow 0} \frac{B}{H} \quad (1)$$

kde $\mu_o \dots$ magnetická konstanta ($H.m^{-1}$)

$H, B \dots$ souřadnice bodů dané magnetizační charakteristiky ($A.m^{-1}; T$)

Obvykle se v praxi nahrazuje amplitudovou permeabilitou měřenou při malých amplitudách střídavé intenzity magnetického pole ($B \leq 0,5 \text{ mT}$) popř. magnetické indukce a bez předmagnetování. [1]

- **Efektivní permeabilita μ_e**

je taková, kterou by měl mít materiál hypotetický homogenní, aby se dosáhla při stejných rozměrech, stejná celková reluktance, jako má jádro vyrobené z různých materiálů.

$$\mu_e = \frac{1}{\mu_o} \frac{L}{N^2} \sum_{k=1}^n \frac{l_k}{S_k} \quad (2)$$

kde $\mu_o \dots$ magnetická konstanta ($H.m^{-1}$)

$L \dots$ indukčnost měřicí cívky s jádrem (H)

$N \dots$ počet závitů měřicí cívky (-)

$l_k \dots$ délka siločáry k-tého úseku jádra (m)

$S_k \dots$ průřez k-tého úseku jádra (m^2) [1]

- **Amplitudová permeabilita μ_a**

je poměr amplitudy magnetické indukce a intenzity magnetického pole

$$\mu_a = \frac{1B_a}{\mu_o H_a} \quad (3)$$

kde μ_o ...magnetická konstanta ($H.m^{-1}$)

B_a ...amplituda magnetické indukce (T)

H_a ...amplituda intenzity magnetického pole ($A.m^{-1}$)

Pojmu amplitudová permeabilita se používá u jader, pracujících při vysokých hodnotách magnetické indukce. [1]

b) Změny v závislosti na teplotě

- **Mezní pracovní teplota ϑ_c**

je Curieova teplota, při které materiál z feromagnetického stavu přechází do paramagnetického. Tento přechod je náhlý, proto se obtížně určuje. Pro praxi se mezní pracovní teplota definuje teplotou, při níž klesne počáteční permeabilita na 50 % hodnoty při 20 °C. Hodnoty ϑ_c jsou materiálovou konstantou. [1]

c) Ztráty v jádře

Lze definovat celkové ztráty v jádře jako výkon absorbovaný součástí a přeměněný na teplo při periodicky proměnné magnetické indukci. Ztráty při malých magnetických indukcích v Rayleighově oblasti lze rozdělit na ztráty vířivými proudy, zbytkové a hysterezní. [1]

Oblast Rayleighova je definovaná jako oblast, v níž platí kvadratická závislost magnetické indukce na intenzitě magnetického pole s dostatečnou přesností, podle vztahu

$$\frac{B}{\mu_o} = (\mu_i + vH_a)H \pm \frac{v}{2}(H_a^2 - H^2) \quad (4)$$

kde B ...okamžitá hodnota indukce (T)

μ_o ...magnetická konstanta ($H.m^{-1}$)

μ_i ...počáteční permeabilita (-)

v ...Rayleighův hysterezi činitel ($A.m^{-1}$)

H_a ...amplituda intenzity magnetického pole ($A.m^{-1}$)

H ... okamžitá hodnota intenzity magnetického pole ($A.m^{-1}$) [1]

d) Součinitel indukčnosti A_L

Je indukčnost, kterou má cívka o jednom závitu daného tvaru a rozměrů, umístěna v jádru v dané poloze,

$$A_L = \frac{L}{N^2} \quad (5)$$

kde A_L ...součinitel indukčnosti (H)

L ...indukčnost cívky (H)

N ...počet závitů (-)

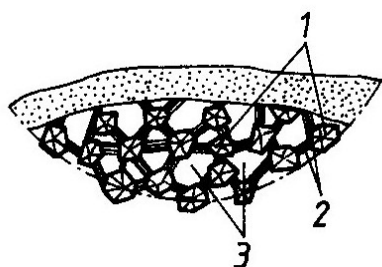
Pro praktické účely se používají jednotky nH nebo μH . Používá se také činitel závitů α . Je to počet závitů, který by cívka daného rozměru a tvaru, umístěná na jádru v dané poloze musela mít, aby se dosáhlo jednotkové indukčnosti. [1]

$$\alpha = \frac{N}{\sqrt{L}} \quad (6)$$

Součinitel indukčnosti musí být měřen za podmínky, že měřicí proud je určen tak, aby $B < 0,5$ mT. [1]

2.3 Broušení

Mezi historicky nejstarší metody obrábění patří broušení. U nástrojů pro broušení má každé zrno brusiva jiný geometrický tvar, na rozdíl od jiných metod obrábění, kde je břit nástroje vždy přesně definován. V brousicím nástroji jsou zrna umístěna náhodně a jsou spojena pojivem. Mezi pojivem a zrny se vyskytují volná místa – tzv. póry. Struktura brousicího nástroje je schématicky znázorněna na obr. 11. [9], [10]



1 – zrna brusiva

2 – pojivo

3 – póry

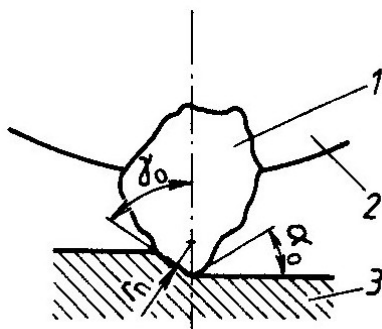
Obr.11 Struktura brousicího nástroje [9]

Kromě nástrojů brousicích se také pro broušení používá volné brusivo. Volná zrna jsou k předmětu broušenému přitlačována deskou, trnem apod. [9]

Broušení je dokončovací metoda obrábění válcových, rovinných nebo tvarových vnějších a vnitřních ploch nástrojem, jehož břity jsou tvořeny zrny tvrdých materiálů, spojených navzájem vhodným pojivem. [9]

2.3.1 Podstata metody

Charakteristické pro broušení je, že současně je v záběru velké množství zrn (břitů), které ubírají třísky velmi malých průřezů různých velikostí. Zpravidla je negativní úhel čela zrna γ_0 a poloměr ostří r_n je u běžných velikostí zrn $5\ \mu\text{m}$ až $40\ \mu\text{m}$ (obr. 12). [9]



1 – zrno

2 – brousicí kotouč

3 – obrobek

α_0 - ortogonální úhel hřbetu

γ_0 - ortogonální úhel čela

r_n - poloměr ostří

Obr.12 Tvar zrna brousicího kotouče [9]

V současné strojírenské výrobě se broušení používá zejména na dokončovací obrábění ploch s vysokou přesností a jakostí obrobeného povrchu, opracování materiálů s vysokou tvrdostí a pevností, kde je obrábění jinými nástroji nemožné, nebo obtížné (keramické materiály, kalené oceli apod.). [9]

2.3.2 Základní metody

Broušení se dá rozdělit z hlediska tvaru broušených ploch a způsobu práce:

- broušení do kulata vnější axiální (s podélným posuvem),
 - axiální hloubkové,
 - zápichové,
 - bezhroté (zápichové nebo axiální);
- vnitřní axiální (s podélným posuvem),
 - zápichové,
 - planetové,
 - bezhroté;
- broušení rovinné obvodem kotouče,
 - čelem kotouče;
- broušení tvarové tvarovými kotouči,
 - kopírovacím způsobem,
 - na NC a CNC broušicích strojích. [9], [10]

2.3.3 Chladicí kapaliny

Při broušení způsobuje vysoká řezná rychlost, vznik značného množství tepla v místě řezu. Ve většině případů je při broušení nutné použít chladicí kapalinu, která má tři funkce:

- odvádí část tepla, vzniklého při broušení,
- v místě řezu snižuje tření a tím i množství vzniklého tepla,
- odplavuje vzniklé třísky i odlomené části zrn kotouče. [9]

Kapalina chladicí by měla být přiváděna v dostatečném množství. U běžného broušení se chladicí kapalina pohybuje asi kolem 1 litr za minutu na 1 mm šířky kotouče. Při rychlostním broušení je potřeba kapalinu přivádět pod vysokým tlakem až 2 MPa a ve větším množství. [9]

Pro náročnější broušení se používají speciální chladicí kapaliny a řezné oleje určené pro broušení, pro běžné broušení se používá roztoků elektrolytů a emulzí. [9]

2.3.4 Řezné podmínky

Podle způsobu broušení a podle druhu pojiva se volí řezná rychlost (obvodová rychlost kotouče). U keramického pojiva se pro vnější broušení používá řezných rychlostí 30 m.s^{-1} až 35 m.s^{-1} , u kotoučů moderních do 100 m.s^{-1} . Lze použít rychlostí i přes 100 m.s^{-1} , u kotoučů řezacích z pryskyřičným pojivem, vyztužených skelnými vlákny. Pro broušení rychlostní se vyrábějí kotouče speciální s keramickou vazbou, umožňující brousit rychlostí až 120 m.s^{-1} . Posuv podélný obrobku při rotačním broušení se volí 0,3 až 0,5 šířky kotouče, při broušení rovinném až 0,7 šířky kotouče. Radiální přísuv kotouče se při hrubování do řezu volí 0,01 mm až 0,1 mm za zdvih, při broušení načisto do 0,01 mm. Pro lepší zpřesnění rozměru plochy broušené se provede tzv. vyjiskřování, kde se bez přísuvu obrobek několikrát přebrousí brousicím kotoučem. Vyrovnají se tím pružné deformace soustavy stroj – nástroj – obrobek – upínač, které jsou způsobené tepelnou roztažností a řeznými silami. V závislosti na materiálu obrobku a požadované jakosti povrchu, se obvodová rychlost obrobku volí 20 m.min^{-1} až 40 m.min^{-1} . [9]

2.3.5 Dosahované parametry

Ve většině případů se technologie broušení používá jako dokončovací operace, proto se požaduje, aby odpovídala přesnost rozměrů a jakost obrobených ploch. Tyhle parametry závisí především na tuhosti a přesnosti brousicího stroje, na způsobu broušení, na řezných podmínkách, na velikost zrna a dalších vlastnostech brusného kotouče. [9]

V tab. 2 jsou uvedeny přesnosti rozměrů a jakosti obrobené plochy broušením, dosahované při různých způsobech broušení. [9]

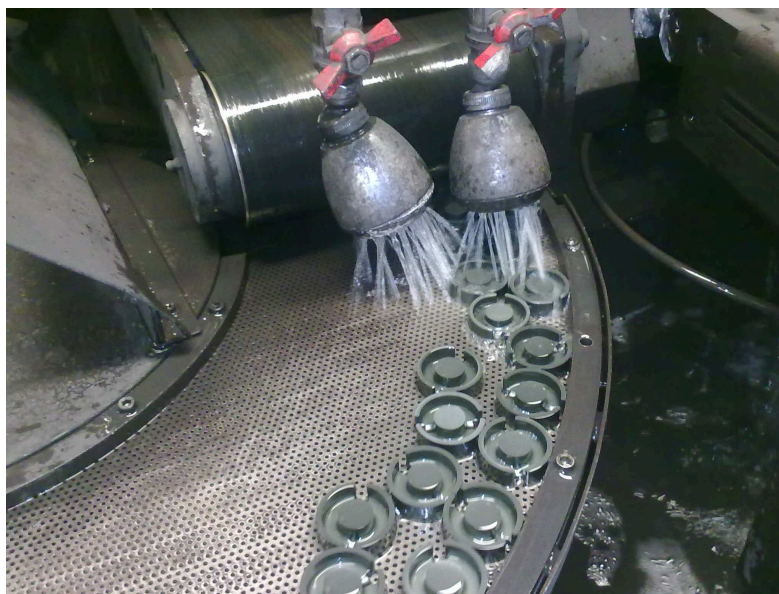
Tab. 2 Přesnost a jakost ploch obrobených broušením [9]

Tvar broušené plochy	Způsob broušení		Přesnost rozměrů IT	Jakost obrobené plochy Ra (μm)
Rovinná	hrubování	čelem	9-11	0,8-6,3
		obvodem	8-11	0,8-3,2
	načisto	čelem	5-7	0,2-1,6
		obvodem	5-7	0,2-1,6
	jemné broušení		3-5	0,025-0,4
Vnitřní válcová	hrubování		9-11	1,6-3,2
	načisto		5-7	0,4-1,6
	jemné broušení		3-6	0,05-0,4
Vnější válcová	hrubování		9-11	1,6-3,2
	načisto		5-7	0,4-1,6
	jemné broušení		3-6	0,025-0,4

3 Návrh nového řešení vybraných součástí

Po výpalu feritových jader jsou rozměrové tolerance větší než požaduje zákazník a rovinnost ploch není dostatečná pro dosažení požadovaných elektromagnetických parametrů. Proto se feritová jádra obrábí broušením, které se provádí mimo jiné na brousicích centrech SZ1-SZ6 strojích s názvy Berney a Gustina.

Jedním z nejdůležitějších parametrů pro zaručení bezproblémového broušení je mimo jiné zajištění správného chlazení během vlastního broušení feritových jader. Jako chladicí prostředek se při broušení používá brusná voda, jedná se o pitnou vodu s cca. 2 % obsahem antikorozní kapaliny. Brusná voda nezajišťuje pouze vlastní chlazení během broušení, ale také odplavuje odbroušený materiál mimo místo broušení do magnetický separátorů (záchytných nádrží). Pokud by došlo k nedostatečnému (popř. žádnému) chlazení má toto důsledky nejen na broušená feritová jádra (vzhledové vady, elektrické parametry, termopraskliny), ale také na brusný kotouč, který se zapaluje (vzhledově tmavý), ztrácí brusné vlastnosti a může také dojít k jeho úplnému zničení.



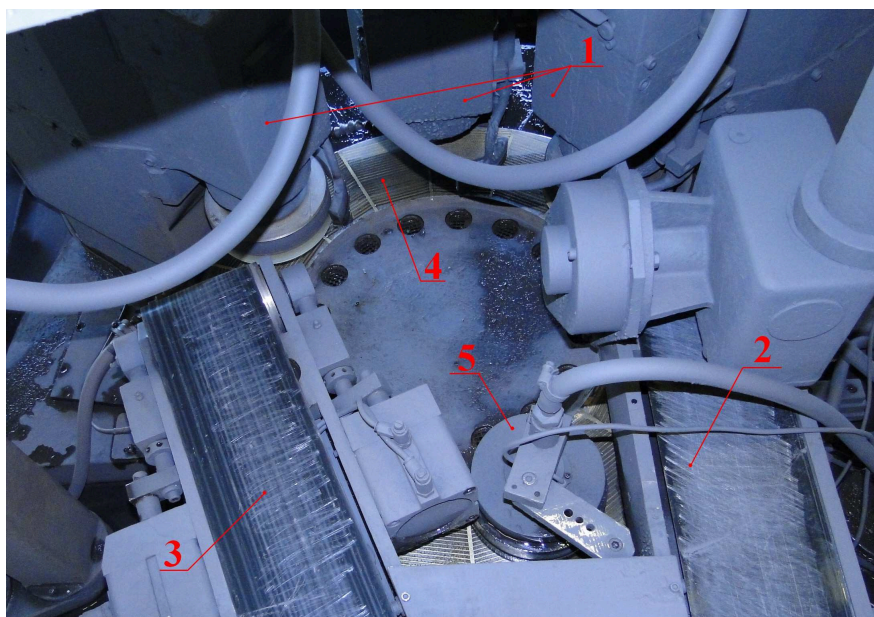
Obr.13 Chlazení feritových jader

Na brusných centrech Berney se používá tzv. hrncové provedení brusných kotoučů s duralovým tělem. Kotouče jsou diamantové s pryskyřičnou vazbou. Transportní systémy musí být odstupňovány, to se provádí na třech rozdílných totálních rychlostech a to 30, 50, 80 % (30 % je cca 1,3 m/min). Při všech těchto rychlostech musí být splněno, že rychlost následujícího pásu (magnetu) musí být větší než rychlost předešlého.

Feritová jádra jsou dodávána nakládacím automatem na vibrační desku, kde jsou následně unášena po pásovém dopravníku na brusný pás, kde jsou přichycena magnetem přes textilní pás a dopravována přes brousicí kotouč. Během jejich transportu po magnetu je nejdříve broušené dno feritových jader. Drsnost brousicího kotouče je D91.

Feritová jádra dále pokračují po dopravním pásu na vstupní pás, který jádra dopraví na magnetický stůl, který se s jádry otáčí. Nad magnetickým stolem jsou umístěna tři vřetena za sebou, která brousí feritová jádra postupně ze stykové plochy. Tyto tři diamantové brusné kotouče se používají od nejdrsnějších po nejjemnější. První kotouč je D91, druhý kotouč je D15 a třetí kotouč je D6.

Mezi vstupním a výstupním pásem na magnetickém stole je umístěn čistící kotouček. Čistící kotouček slouží pro začištění magnetického stolu od zbytku feritu, který na něm ulpívá. Čistící kotouček je v diamantové podobě se zrnitostí D91. Kdyby nebyl čistící kotouček na magnetickém stole, tak by na něm zůstaly zbytky odbroušených feritů, jádra by se přichytila na nečistoty, tím by nastalo, že by jádra nebyla v rovině a při broušení by nebyla stabilní, tím by nám sice vznikla nabroušená plocha, ale jádro by neodpovídalo rozměrům daným výkresem.



Obr.14 Brusné centrum Berney

1-brousicí vřetena; 2-vstupní pás; 3-výstupní pás; 4-magnetický stůl; 5-čistící kotouček

Po průchodu feritových jader pod třemi brusnými kotouči je zcela nabroušená styková plocha. Nabroušená feritová jádra dále postupují z výstupního pásu a jsou unášena pomocí vibrační desky k pásovému dopravníku, kde jsou jádra následně čištěna v ultrazvukových myčkách a sušena tlakem horkého vzduchu. Čistota feritových jader je důležitým znakem kvality, který má vliv na vzhled a elektrické hodnoty.

Feritová jádra dále postupují po pásovém dopravníku k vibrační desce, kde jsou následně odebírána odbíracím zařízením a spočítána.

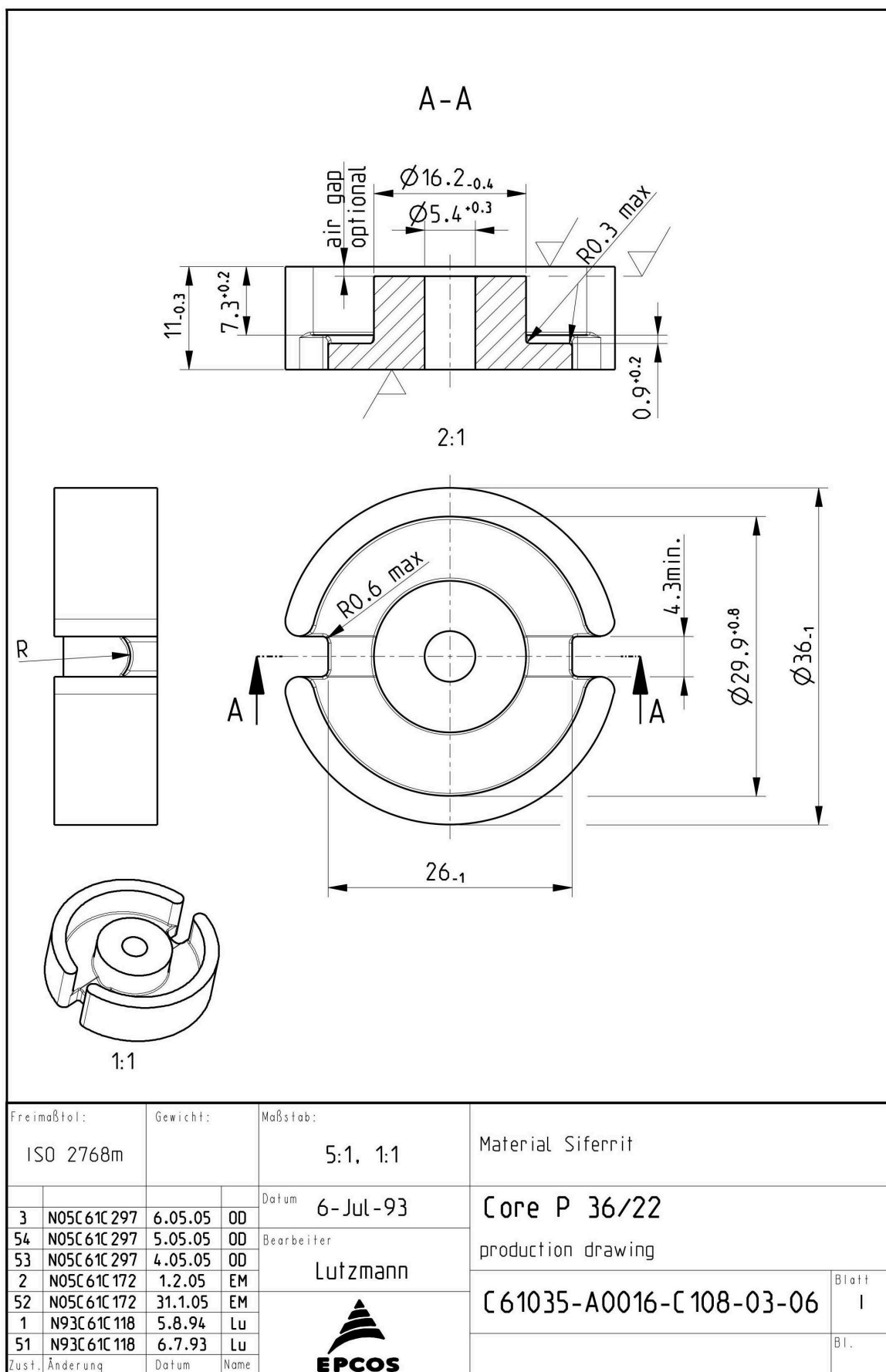


Obr.15 Odebírací zařízení

S výrobní dávkou po celou dobu výroby putuje tzv. loskarta, která slouží k identifikaci výrobní dávky. Na loskartě je vyznačený tzv. FGS plán, který popisuje veškeré operace, které se na výrobku musí provést. Veškeré operace jsou na loskartě uvedeny v posloupnosti jak po sobě následují. Provedené operace se do loskarty zapisují.

Materiál		SNR:		ME:		1 - Kus		Výr.č.	
N48		CSNR: C61035-A0016-C108		Soil-DLZ:		11		54838103	
		Typ: P36/22		FGR:		357		Los-č. 00954239	
		Obvyklý počet ks: 4320		Barva: zelená		Poč.KS: 2880		AT: 151	
		Založení LOSu: 28.11.2011		LOG		LT: 202		Tisk: EA4701	
		Tisk LOSu: 9.12.2011 7:48:40		Strana 1/1					
54838103		50/2		00954239					
PID-č. 48905 - 03/7		výpal-č. 4102		Sazbe výpalu D5-451				3 PM	
A02 N		ZKUSEB.SPECIFIKACE		5-048.1-5.A0016.C108-001				EB - N26	
		V MEKKEM:P36		94814322				27.02.2012	
		CISLO NASTROJE :		12005714				mk13741	
		POLE VYPALU :		12012475				N48	
		SCHEMA ODKLADANI :		34361484				00954239	
A20 1 000		MATERIAL:		32				D5751	
A20		N 22 SPG 4 TR						42	
S405 005 A		Los-zpětná vazba		dobré ks. 480		zmetky		prac-č. II 13827	
4435 006 915		UDRZBA, SLOZENI NASTROJU		2900				datum 13.2.72	
4418 010 315		SERIZ.LISU						13.2.72	
4418 020 200		OBSLUHA LISU SERIZOVACEM							
4484 030 816		KONTROLA HUSTOTY							
4434 040 120		LISOVANI TPA 50 +TPA ODK							
4434 040 120		17 ZDV.X 1 NAS.NAST.=17KS/MIN							
S434 100 A		Los-zpětná vazba		2880				13.2.72	
4416 110 926		SERIZENI PECI							
4415 120 127		ODPLYNENI V OKP 4		2880		START 04:00		II 04543	
4415 120 127		32H.						1900	
4415 120 127		120 LOD.X18 KSX2VRX4VEZE =							
4415 120 127		17.280 KS/PEC							
416 130 132		Výpal - D5, D5 - bez odplyňovací		D5 - 458 + 2122 = 2880				00667 23.2.72	
84 140 834		KONTROLA PO VYPALU		D5-720+2110		26.4863		14053. 2	
		Los-zpětná vazba						00900 2	

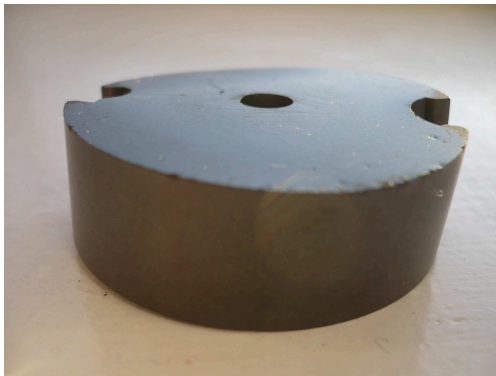
Obr.16 Vypsáná loskarta feritového jádra P36/22



Obr.17 Výkres feritového jádra P36/22

3.1 Příčiny vzniku deformací feritových jader po výpalu

Vlivem nehomogenity granulátu po lisování, různému rozložení hustoty v jádře, deformace výpalem a dalšími vlivy dochází k tvarové deformaci jader.



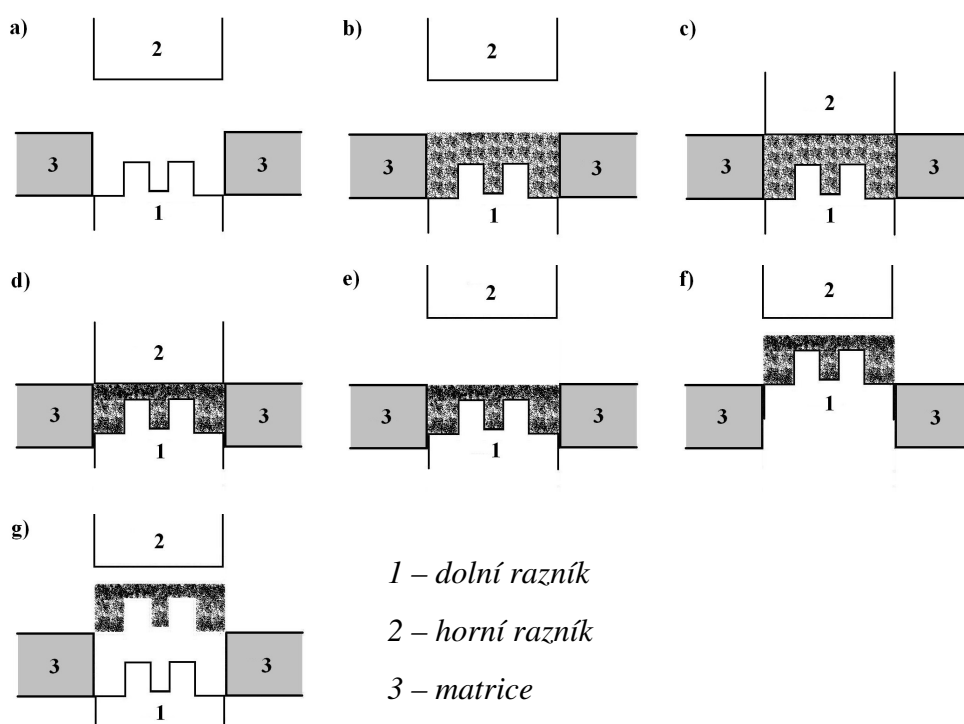
Obr.18 Tvarová deformace feritového jádra

- Nehomogenita granulátu: granulát pro výrobu feritových jader jsou malé kuličky o různé velikosti ($45\text{--}315\ \mu\text{m}$). Při plnění násypky na lise a při samotném plnění lisovací matrice, dochází k přesunu těžších granulí dolů a lehčích nahoru, čímž vznikne nerovnoměrné (nehomogení) rozložení granulátu v matrici před slisováním. Při slisování takto naplněné matrice dochází k rozdílům v hustotě v jednotlivých částech jádra. Stejným způsobem se v granulátu pohybují granule které byly při předešlé manipulaci rozbity a jsou menší než celé granule. Tento problém lze částečně řešit tzv. síťováním, kdy se granulát přeseje přes síto až o velikosti otvorů $250\ \mu\text{m}$. Takovéto síťování je však zdlouhavé, nákladné a nedokáže celkově vyřešit tento problém.

- Dalším problémem u granulátu je rozdílný obsah pojiv u jednotlivých granulí, pojivo slouží ke spojení jednotlivých granulí při lisování. Na začátku výpalu se provádí takzvané odplynění, kdy při teplotách od $200\text{--}350\ ^\circ\text{C}$, přecházejí pojiva v plynnou složku která volně odchází z jádra pryč. Tím vznikne taky různá „mezera“ mezi spékány granulemi. Při krátkém odplynění, nebo příliš vysokém nárůstu teploty při odplynění, uchází plyn z jader tak prudce, že dokáže slisované jádro roztrhnout. Na vypáleném jádru je potom patrná typická prasklina z odplynění a takové jádro je pak vyhodnoceno jako nevyhovující a musí být vyřazeno. Je neopravitelné.

- Rozdíl rozložení hustoty v jednotlivých částech jádra: při nasypání granulátu do matrice, je zaplněn celý objem matrice lisovacího nástroje. Při lisování je více slisován granulát nasypaný do dna jádra a granulát nasypaný do noh jádra je slisovaný méně. Sypná výška je téměř stejná, avšak výška po slisování je v těchto částech rozdílná. V hranách mezi dnem a nohou jádra pak je místo kde se stýkají rozdílné hustoty. Při smršťování jádra

při výpalu se pak liší smrštění v jednotlivých částech jádra (smrštění jádra při výpalu je v rozmezí 12-16 % v závislosti na typu a vlastnostech granulátu). Jelikož se jádro v jednotlivých částech různě smršťuje, vzniká mezi těmito částmi jádra pnutí, které se projeví deformací jádra a v horších případech naprasknutím nebo prasknutím. Menší deformace jader se dají tolerovat pokud deformace nepřesáhne rozměry jádra dané výkresem. Při větších deformacích se musí celá výrobní dávka opravit rozměření rozměrovým kalibrem nebo odbroušením deformace, pokud je to možné. Drobné praskliny lze tolerovat pokud jejich velikost (délka a hloubka) odpovídá mezinárodně uznávaným standardům, nebo pokud je zákazníkem taková vada akceptována. Rozlomená jádra jsou opět neopravitelná.



Obr.19 Lisování jádra

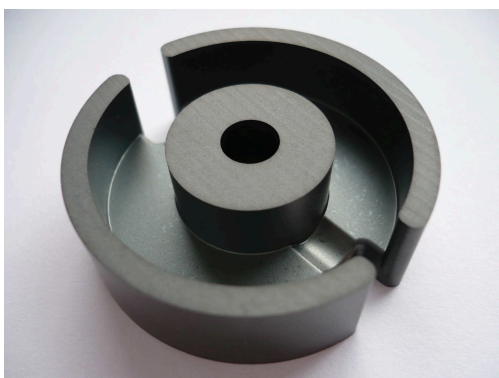
- a) lisovací nástroj nachystaný k nasypání granulátu
b) násypka nasype lisovací granulát do lisovacího nástroje (LN)
c) horní razník zavře LN
d) spodní razník slisuje granulát, tam kde je hustší tečkování vznikne vyšší hustota
e) horní razník otevře LN
f) spodní razník vytlačí slisované jádro z matrice
g) spodní razník se vrátil po výchozí polohy
Násypka odtlačí slisované jádro a znovu nasype granulát do LN

- deformace výpalem: k těmto deformacím dochází kromě výše popsanych důvodů, také díky nerovnoměrnému podkladu pod vypalovanými jádry. Během výpalu, díky smrštění jader, dochází k pohybu jader která „kopírují“ podklad na kterém stojí. Jejich

pohyb se podobá tání plastu, jádra „mírně tečou směrem dolů“. Tomuto napomáhají následující faktory: za 1.) když se jádra vypalují na víc vrstev, tak se horní jádra prohýbají v místech kde nejsou podložena a za 2.) dolní jádra se deformují, když jsou přetížena jádry naloženými nad nimi.

- dalším důvodem může být nerovnost podkladových plátek na které se pokládá první vrstva vypalovaných jader, jádra se vytvarují (deformují) dle podkladu.

Účelem experimentu je zjistit při jak velké deformaci feritových jader P36, již nelze jedním průchodem broušicího stroje zaručit kvalitně nabroušenou stykovou plochu.



Obr.20 Feritové jádro P36

Při broušení je broušené jádro přichyceno magnetem přes textilní pás a dopravováno přes brusný kotouč. Když je jádro deformováno, nedotýká se magnetu celou plochou, ale jen ve třech bodech a poloha jádra není stabilní, díky horšímu přichycení se může v momentě broušení posunout, nebo zkolébnot a tím dochází ke špatnému nabroušení plochy, broušená plocha není rovná a při zkolébnutí jádra v momentě broušení se deformace neodstraní, ale dále se kopíruje. Pokud se potom při měření A_L hodnoty takové jádro změří vychází A_L hodnota nižší. Dvě měřená jádra totiž na sebe nedosedají celou stykovou plochou a tím se nedostatečně uzavře magnetický obvod, takovéto jádro je poté vyhodnoceno jako nevyhovující. Na výstupní kontrole je ze statistických procesních kontrol určeno tzv. AQL 0,25. Toto znamená, že zákazníkům garantují pouze 0,25 % vadných jader, neboli ve 400 ks může být maximálně jeden nevyhovující. Pro takovéto AQL má firma EPCOS s.r.o. stanovený výběrový plán.

Pokud jsou výrobky zastaveny výstupní kontrolou, vrací se zpět k opravě a to buď 100%-ním rozměřením všech jader, nebo opakovaným broušením. Tato oprava může zdržet odeslání výrobku zákazníkovi a způsobuje vícenáklady, z kterými se nepočítalo při návrhu jádra.

4 Diskuse experimentu

Na operacích před broušením je velmi obtížně dosahováno nápravných opatření k omezení deformací jader a proto se tento problém částečně řeší broušením. V experimentu jsme řešili křivost jader P36 z materiálu N48. Naším úkolem bylo stanovit limitní křivosti jader při které nestačí jádra brousit jedním průchodem a je nutné je brousit dvakrát.

Z výrobní dávky jsme vybrali náhodně jádra. Na digitálním úchylkoměru jsme měřili křivost jader takovým způsobem, že jsme si je otočili stykovou plochou dolů na kovovou desku a na jeden konec jádra jsme přiložili hrot úchylkoměru a zatlačením na druhý konec jádra jsme jádro zhoupali, na displeji úchylkoměru jsme odečetli křivost jádra. Tato feritová jádra jsme si rozčlenili do osmi skupin dle velikosti deformace.

Tab. 3 Rozmezí křivosti jader

Skupina	Rozmezí (mm)
1	0-0,05
2	0,05-0,15
3	0,15-0,20
4	0,20-0,25
5	0,25-0,30
6	0,30-0,35
7	0,35-0,40
8	0,40-0,45



Obr.21 Digitální úchylkoměr měření křivosti feritových jader

Z přibližně 500 kusů jader jsme vybrali 304 kusů do osmi skupin. Ve skupinách z nižší deformací nebyl problém vybrat dostatečný počet vzorků. Se zvyšující mírou deformace se však zvyšovala obtížnost najít deformovaná jádra. Ve skupinách s největší deformací jsme takových jader našli jen několik kusů.

Tab. 4 Počet kusů feritových jader

Skupina	Počet kusů jader
1	80
2	80
3	80
4	30
5	20
6	8
7	0
8	4

Z tabulky č. 4 je názorně vidět, že takovouto míru deformace je obtížné najít. Takto naměřená a roztríděná jádra jsme se rozhodli nabrousit dvěma průchody a to takovým způsobem, abychom mohli provést vyhodnocení po prvním průchodu.

Měření A_L hodnoty

Měřením A_L hodnoty se zjišťují elektromagnetické parametry nabroušených jader. Výsledná A_L hodnota je ovlivněna použitým materiálem, programem výpalu a kvalitou nabroušených stykových ploch. Správné hodnoty použitého materiálu a programu výpalu jsou ověřeny na kontrole po výpalu. Kvalitou naměřených stykových ploch se rozumí drsnost stykové plochy a rovinnost stykové plochy.

- Drsnost stykové plochy lze měnit použitím kotouče o jiné zrnitosti při broušení. Ve firmě EPCOS s.r.o. se používají zrnitosti v rozmezí D91 až D15 v extrémních případech se používají i zrnitosti až D126 a na druhé straně spektra až D2. Takto jemné kotouče již jádra leští. Změnou kotouče se drsnost stykové plochy mění razantně. Jemnější doladění broušení A_L hodnoty se provádí změnou otáček kotouče a nebo také změnou rychlosti posuvu pásu avšak má to jisté omezení. Při příliš vysoké rychlosti posuvu nelze dostatečně chladit broušená jádra a hrozí vznik termoprasklin. Při příliš vysokých otáčkách brusného kotouče tento ztrácí své brusné vlastnosti.

- Rovinnost stykové plochy se zhoršuje při tzv. zhoupnutí jádra pod brusným kotoučem, které je způsobeno deformací jádra. Při měření A_L hodnoty se takovéto jádro pozná značným odskokem od hlavního rozložení ostatních naměřených hodnot. Takovýto odskok výrazně snižuje výsledek C_{pk} . V krajním případě může být takto naměřená hodnota i mimo toleranci.

Ve firmě EPCOS s.r.o. jsou pro měření A_L hodnoty používány tzv. měřicí můstky s otírací jednotkou, které byly vyvinuty speciálně pro jejich potřeby. Nastavení takového můstku probíhá automaticky dle identifikačního čísla výrobní dávky. Tímto je omezena

chyba obsluhy při nastavování. Měřicí parametry vycházejí z mezinárodně uznávaných IEC norem ($B = 0,5 \text{ mT}$). Tyto tzv. Almetry jsou pravidelně kalibrovány.

Před měřením jader je nutno dokonale očistit stykové plochy, protože nečistota na těchto plochách by snížila měřenou A_L hodnotu. Při samotném měření A_L hodnoty se nasadí dvě jádra stykovými plochami k sobě tak, aby vytvořili magnetický obvod. Před složením se mezi obě jádra vloží měřicí cívka. Při skládání jader k sobě se musí postupovat velmi pečlivě, aby nedošlo k přesahu mezi jednotlivými plochami. Takový přesah by zúžil průřez společné styčné plochy a tím by se zkreslilo měření, protože by se snížila měřená A_L hodnota. Všeobecně lze říct, že jakákoliv chyba při složení jader k sobě, snižuje měřenou A_L hodnotu.



Obr.22 Almetr

Parametry k měření A_L hodnot pro typ jádra PCH36/22 z materiálu N48

Číslo specifikace: 5-048.1-5.A0016.C108-001

Číslo dávky: 00954239

Číslo výpalu: D5751

Jmenovitá hodnota: 7600

Horní tolerance [%]: 30

Dolní tolerance [%]: -20

Měřicí napětí [mV]: 224

Měřicí frekvence [kHz]: 10

Cívka: L9

Počet závitů: 100

První broušení

Brousicí stroj jsme nastavili tak, aby při broušení dna na první části brousicího stroje bylo dno pouze zarovnáno, ale nebyla nabroušená celá plocha dna. Toho dosáhneme nastavením výšky brusného pásu výše než by bylo při standardním broušení. Hrubovací kotouč jsme nastavili tak, aby odbrousil celou stykovou plochu. Jádra jsme brousili po jednotlivých skupinách, které byly dostatečně odděleny velkou mezerou. Po nabroušení stykové plochy, jádra projela ultrazvukovou pračkou, kde došlo k jejich očištění a následnému osušení horkým vzduchem. Po vychladnutí jader na pokojovou teplotu jsme měřili A_L hodnotu v jednotlivých skupinách.

Záznamy z měření A_L hodnot prvního průchodu pro skupina č. 1

Tab. 5 Naměřené hodnoty

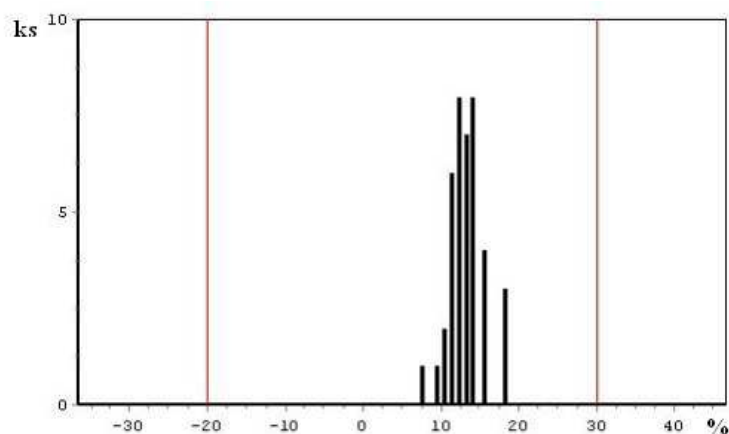
Střední hodnota absolutní [nH]	8624,94
Střední hodnota relativní [%]	13,49
Směrodatná odchylka [%]	2,29
C_{pk} [-]	2,4
Maximální hodnota rel [%]	18,53
Minimální hodnota rel [%]	7,6

Změřeno párů: 40

Uvolněno: 40

Výpad nad: 0

Výpad pod: 0



Obr.23 Graf naměřených A_L hodnot

Záznamy z měření A_L hodnot prvního průchodu pro skupina č. 2

Tab. 6 Naměřené hodnoty

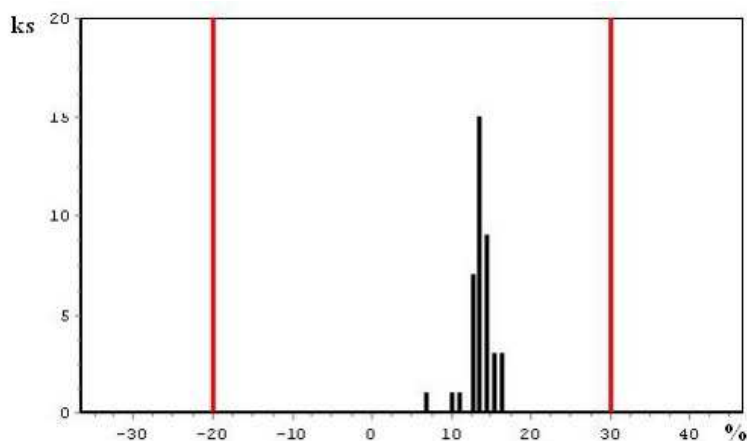
Střední hodnota absolutní [nH]	8655,39
Střední hodnota relativní [%]	13,89
Směrodatná odchylka [%]	1,79
C_{pk} [-]	3
Maximální hodnota rel [%]	16,98
Minimální hodnota rel [%]	6,71

Změřeno párů: 40

Uvolněno: 40

Výpad nad: 0

Výpad pod: 0



Obr.24 Graf naměřených A_L hodnot

Záznamy z měření A_L hodnot prvního průchodu pro skupina č. 3

Tab. 7 Naměřené hodnoty

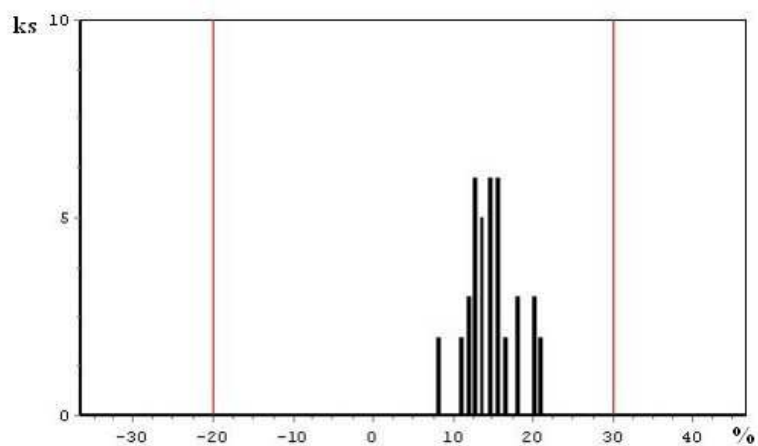
Střední hodnota absolutní [nH]	8746,83
Střední hodnota relativní [%]	15,09
Směrodatná odchylka [%]	3,18
C_{pk} [-]	1,56
Maximální hodnota rel [%]	21,18
Minimální hodnota rel [%]	8,04

Změřeno párů: 40

Uvolněno: 40

Výpad nad: 0

Výpad pod: 0



Obr.25 Graf naměřených A_L hodnot

Záznamy z měření A_L hodnot prvního průchodu pro skupina č. 4

Tab. 8 Naměřené hodnoty

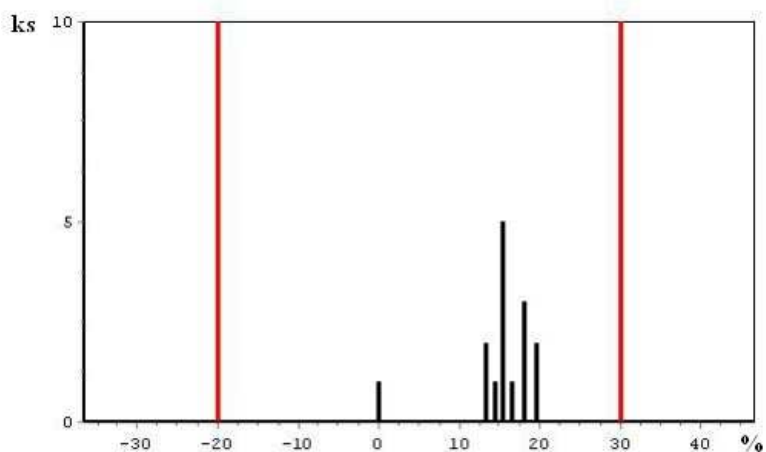
Střední hodnota absolutní [nH]	8765,83
Střední hodnota relativní [%]	15,34
Směrodatná odchylka [%]	4,66
C_{pk} [-]	1,05
Maximální hodnota rel [%]	19,61
Minimální hodnota rel [%]	-0,01

Změřeno párů: 15

Uvolněno: 15

Výpad nad: 0

Výpad pod: 0



Obr.26 Graf naměřených A_L hodnot

Záznamy z měření A_L hodnot prvního průchodu pro skupina č. 5

Tab. 9 Naměřené hodnoty

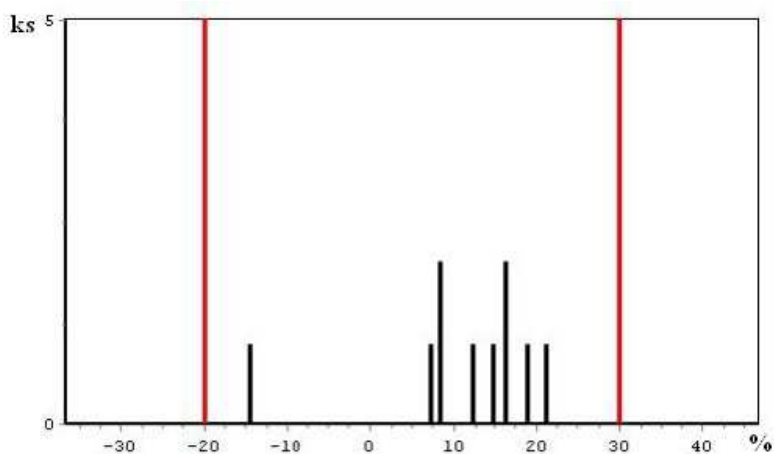
Střední hodnota absolutní [nH]	8432,3
Střední hodnota relativní [%]	10,95
Směrodatná odchylka [%]	10,13
C_{pk} [-]	0,63
Maximální hodnota rel [%]	21,24
Minimální hodnota rel [%]	-14,61

Změřeno párů: 10

Uvolněno: 10

Výpad nad: 0

Výpad pod: 0



Obr.27 Graf naměřených A_L hodnot

Záznamy z měření A_L hodnot prvního průchodu pro skupina č. 6

Tab. 10 Naměřené hodnoty

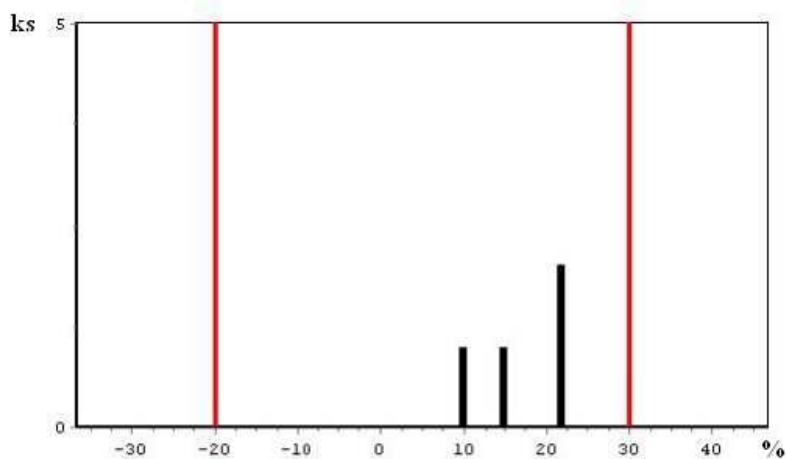
Střední hodnota absolutní [nH]	8893,69
Střední hodnota relativní [%]	17,02
Směrodatná odchylka [%]	5,76
C_{pk} [-]	0,75
Maximální hodnota rel [%]	21,67
Minimální hodnota rel [%]	9,81

Změřeno párů: 4

Uvolněno: 4

Výpad nad: 0

Výpad pod: 0



Obr.28 Graf naměřených A_L hodnot

Záznamy z měření A_L hodnot prvního průchodu pro skupina č. 8

Tab. 11 Naměřené hodnoty

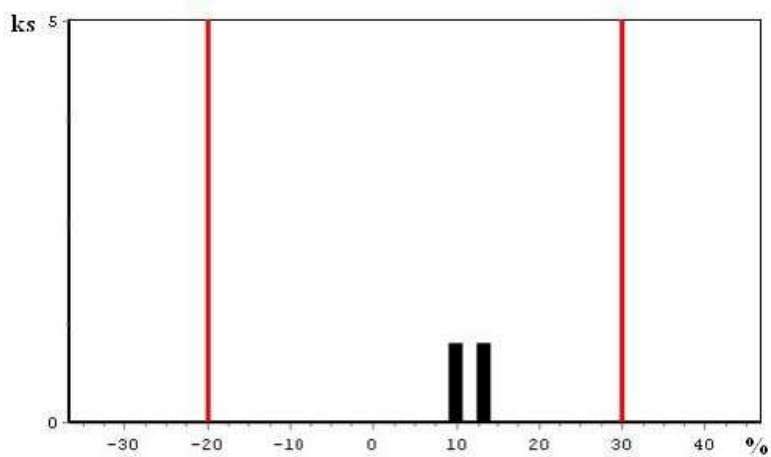
Střední hodnota absolutní [nH]	8476,65
Střední hodnota relativní [%]	11,53
Směrodatná odchylka [%]	2,39
C_{pk} [-]	2,58
Maximální hodnota rel [%]	13,22
Minimální hodnota rel [%]	9,85

Změřeno párů: 2

Uvolněno: 2

Výpad nad: 0

Výpad pod: 0



Obr.29 Graf naměřených A_L hodnot

Tab. 12 Broušení prvním průchodem

Skupina číslo	Střední hodnota [%]	Směrodatná odchylka [%]	C_{pk}	$\Delta\%$
1	13,49	2,29	2,4	10,93
2	13,89	1,79	3	10,27
3	15,09	3,18	1,56	13,14
4	15,34	4,66	1,05	19,62
5	10,95	10,13	0,63	35,85
6	17,02	5,76	0,75	11,86
8	11,53	2,39	2,58	3,37

Ze záznamu z měření jednoznačně vyplývá, že u jader ze skupin s nižším číslem je mnohem menší rozptyl A_L hodnoty. U těchto skupin je rozptyl cca 12 % a se zvyšující se deformací jader rozptyl stoupá. U skupiny číslo 4 je rozptyl cca 20 % a u skupiny číslo 5 je již cca 36 %. U těchto dvou posledně jmenovaných skupin se již objevili odskoky od hlavního rozložení a proto je rozptyl tak vysoký, také naměřená hodnota C_{pk} se pohybuje kolem akceptovatelné hranice 1,0. U skupin číslo 6 a 8 nebyly zjištěny odskoky při měření což bylo způsobeno nedostatečným množstvím vzorků deformovaných jader. Naměřená nominální hodnota u všech měřených jader byla příliš vysoko a pohybovala se poměrně kolem +15 % horní limit je přitom +30 %. Toto bylo způsobeno méně vhodným způsobem výpalu jader.

Druhé broušení

Po tomto testu jsme brousicí stroj nastavili tak, aby jádro bylo nabroušeno na finální rozměry dle výkresu. Druhým průchodem brousicího stroje se lépe zarovná styková plocha, protože jádro je na magnetu uchyceno již mnohem rovnější plochou, která vznikla zarovnáním nerovnosti při prvním průchodu. Uchycení jádra za zarovnanou plochu je magnetická síla přitahující jádro větší. Průchod brousicím strojem probíhá obdobně jako u prvního broušení. Nejprve bylo nabroušeno dno jádra na konečný rozměr a poté bylo jádro dopraveno k broušení stykové plochy. Po nabroušení stykové plochy bylo jádro opět umyto a osušeno v průběžné ultrazvukové myčce. Poté jsme počkali na vychladnutí jader na pokojovou teplotu a opět jsme změřili A_L hodnotu v jednotlivých skupinách. Nyní jsme mohli provést i měření rozměrů, které byly již nabroušeny v rámci tolerancí daných výkresem jádra C61035-A0016-C108.

Záznamy z měření A_L hodnot druhého průchodu pro skupina č. 1

Tab. 13 Naměřené hodnoty

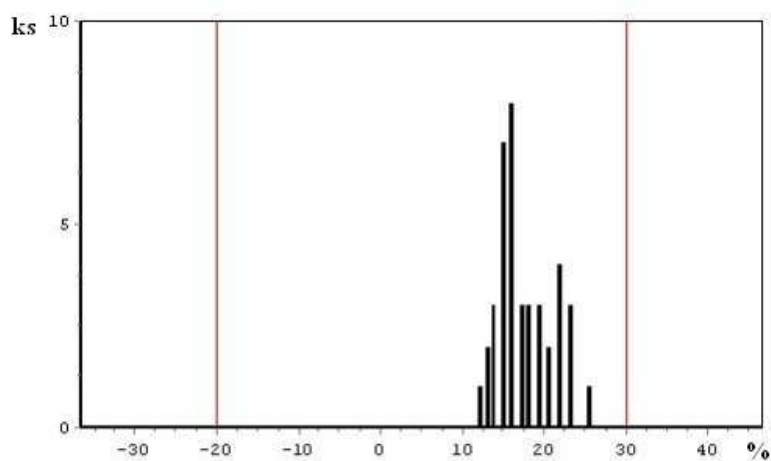
Střední hodnota absolutní [nH]	8958,45
Střední hodnota relativní [%]	17,87
Směrodatná odchylka [%]	3,33
C_{pk} [-]	1,22
Maximální hodnota rel [%]	25,46
Minimální hodnota rel [%]	12,14

Změřeno párů: 40

Uvolněno: 40

Výpad nad: 0

Výpad pod: 0



Obr.30 Graf naměřených A_L hodnot

Záznamy z měření A_L hodnot druhého průchodu pro skupina č. 2

Tab. 14 Naměřené hodnoty

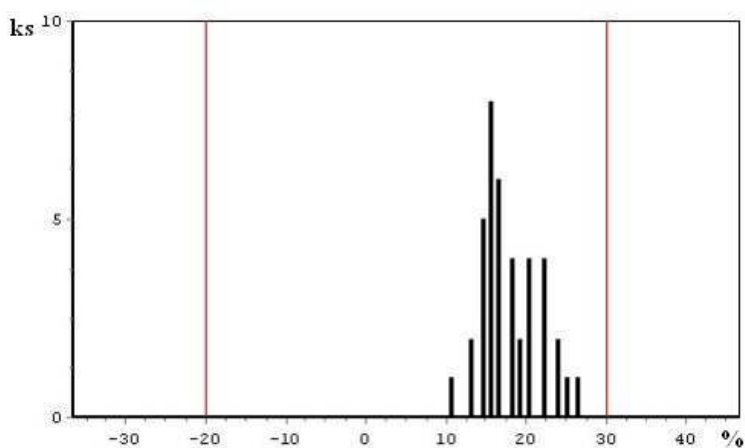
Střední hodnota absolutní [nH]	8987,34
Střední hodnota relativní [%]	18,25
Směrodatná odchylka [%]	3,55
C_{pk} [-]	1,1
Maximální hodnota rel [%]	26,54
Minimální hodnota rel [%]	10,55

Změřeno párů: 40

Uvolněno: 40

Výpad nad: 0

Výpad pod: 0



Obr.31 Graf naměřených A_L hodnot

Záznamy z měření A_L hodnot druhého průchodu pro skupina č. 3

Tab. 15 Naměřené hodnoty

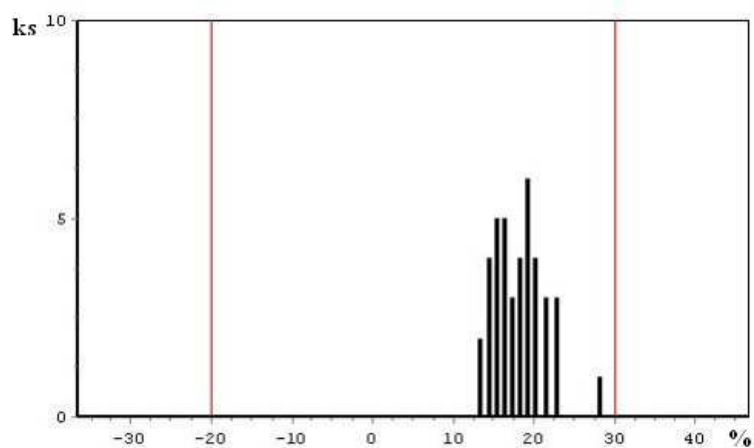
Střední hodnota absolutní [nH]	9003,07
Střední hodnota relativní [%]	18,46
Směrodatná odchylka [%]	3,08
C_{pk} [-]	1,25
Maximální hodnota rel [%]	28,15
Minimální hodnota rel [%]	13,14

Změřeno párů: 40

Uvolněno: 40

Výpad nad: 0

Výpad pod: 0



Obr.32 Graf naměřených A_L hodnot

Záznamy z měření A_L hodnot druhého průchodu pro skupina č. 4

Tab. 16 Naměřené hodnoty

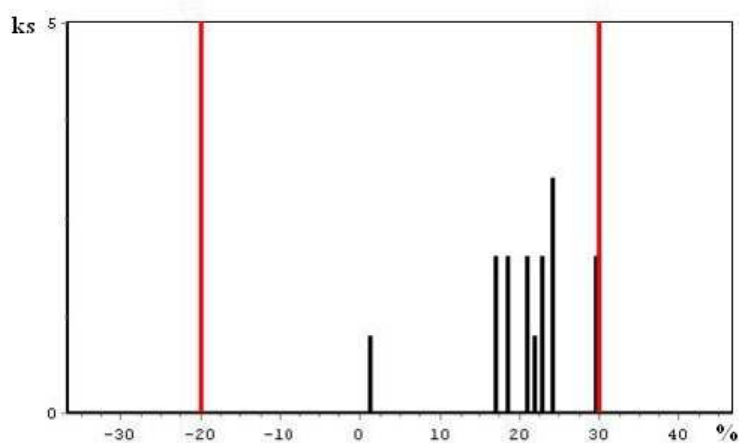
Střední hodnota absolutní [nH]	9205,29
Střední hodnota relativní [%]	21,12
Směrodatná odchylka [%]	6,73
C_{pk} [-]	0,44
Maximální hodnota rel [%]	30,13
Minimální hodnota rel [%]	1,24

Změřeno párů: 15

Uvolněno: 14

Výpad nad: 1

Výpad pod: 0



Obr.33 Graf naměřených A_L hodnot

Záznamy z měření A_L hodnot druhého průchodu pro skupina č. 5

Tab. 17 Naměřené hodnoty

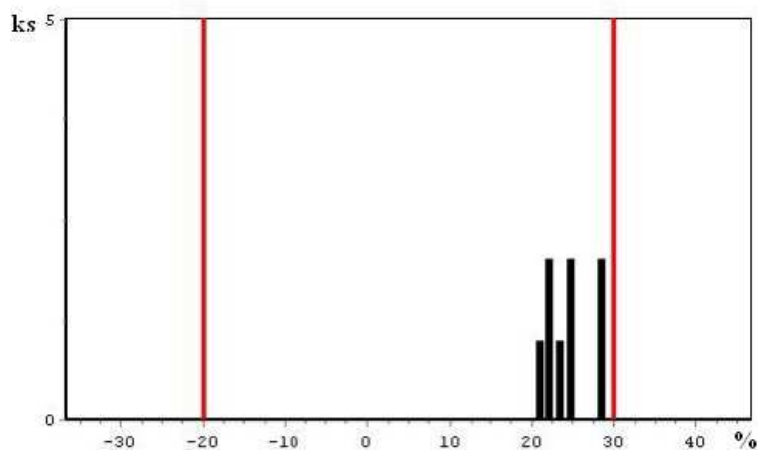
Střední hodnota absolutní [nH]	9464,98
Střední hodnota relativní [%]	24,54
Směrodatná odchylka [%]	2,77
C_{pk} [-]	0,66
Maximální hodnota rel [%]	28,56
Minimální hodnota rel [%]	20,94

Změřeno párů: 8

Uvolněno: 8

Výpad nad: 0

Výpad pod: 0



Obr.34 Graf naměřených A_L hodnot

Záznamy z měření A_L hodnot druhého průchodu pro skupina č. 6

Tab. 18 Naměřené hodnoty

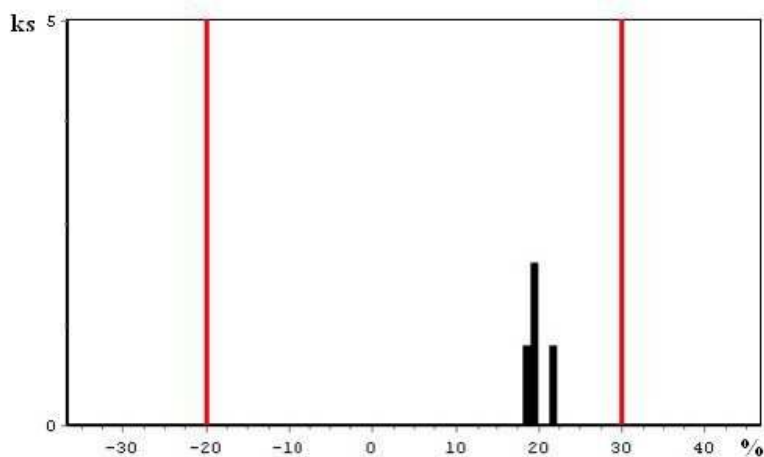
Střední hodnota absolutní [nH]	9116,04
Střední hodnota relativní [%]	19,95
Směrodatná odchylka [%]	1,34
C_{pk} [-]	2,51
Maximální hodnota rel [%]	21,77
Minimální hodnota rel [%]	18,59

Změřeno párů: 4

Uvolněno: 4

Výpad nad: 0

Výpad pod: 0



Obr.35 Graf naměřených A_L hodnot

Záznamy z měření A_L hodnot druhého průchodu pro skupina č. 8

Tab. 19 Naměřené hodnoty

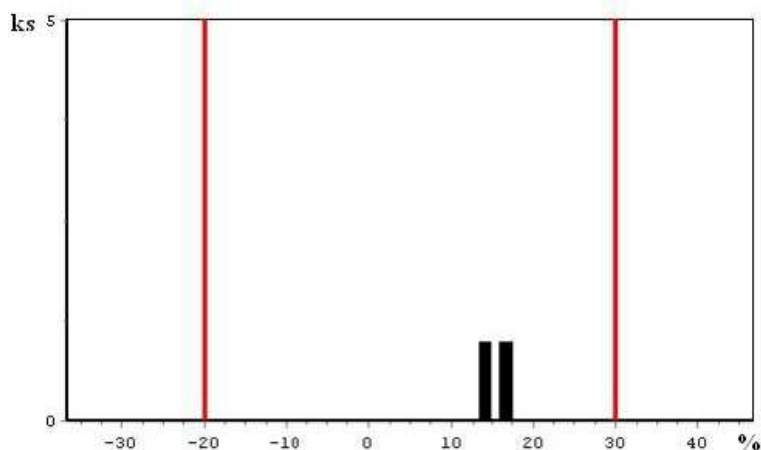
Střední hodnota absolutní [nH]	8775,5
Střední hodnota relativní [%]	15,47
Směrodatná odchylka [%]	1,79
C_{pk} [-]	2,71
Maximální hodnota rel [%]	16,73
Minimální hodnota rel [%]	14,2

Změřeno párů: 2

Uvolněno: 2

Výpad nad: 0

Výpad pod: 0



Obr.36 Graf naměřených A_L hodnot

Tab. 20 Broušení druhým průchodem

Skupina číslo	Střední hodnota [%]	Směrodatná odchylka [%]	C_{pk}	$\Delta\%$
1	17,87	3,33	1,22	13,32
2	18,25	3,55	1,1	15,99
3	18,46	3,08	1,25	15,01
4	21,12	6,73	0,44	28,89
5	24,54	2,77	0,66	7,62
6	19,95	1,34	2,51	3,18
8	15,47	1,79	2,71	2,53

Z naměřených hodnot je patrné, že u skupiny jader s nízkým číslem je rozptyl stále nízký kolem cca 13 %. U jader s vyšší deformací se rozptyl výrazně zlepšil avšak u skupiny číslo 4 nebyla oprava dvojím broušením dostatečná a rozptyl měřených hodnot se nezlepšil, naopak se mírně zvýšil. U skupin číslo 5, 6 a 8 toto nebylo pozorováno pravděpodobně pro nedostatečný počet vzorků deformovaných jader. Hodnota C_{pk} je nízká, což je způsobeno vysokou nominální hodnotou naměřených jader, která je o cca 5 % vyšší než v případě prvního průchodu a to ve velké většině skupin. Toto zvýšení je způsobeno dokonalejším uchycením jader, která byla po prvním broušení částečně zarovnána a tím lépe držela na magnetu a styková plocha byla nabroušena

mnohem rovněji a jemněji. Při sériové výrobě takových jader by byla rychlost posuvu zvýšena takovým způsobem, aby nominální A_L hodnota nabroušených jader byla více u středu a tím bylo dosahováno vyššího C_{pk} . Při našem testu jsme se rozhodli nechat stejné všechny parametry nastavení broušicího stroje, které by mohly ovlivnit A_L hodnotu, aby byl patrnější vliv zlepšení A_L hodnoty při druhém průchodu.

Měření rozměrů

Na digitálním úchylkoměru jsme měřili rozměry takovým způsobem, že jsme si jádro umístili nabroušeným dnem dolů na kovovou desku. Na stykovou plochu jádra jsme přiložili hrot úchylkoměru na displeji úchylkoměru jsme odečetli rozměr jádra. Tímto jsme změřili rozměry E viz. obr.37 a obr.38. Stejně tak jsme naměřili hloubky cívkového prostoru, tím jsme změřili rozměry F viz obr.37 a obr.39.

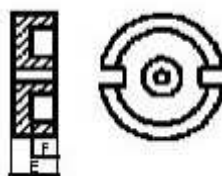
Parametry k měření rozměrů pro typ jádra PCH36/22 z materiálu N48

Výkres: C61035-A0016-C108

Číslo dávky: 00954239

Číslo výpalu: D5751

Měřeno jader: 10



Obr.37 Feritové jádro



Obr.38 Měření stykové plochy (E)

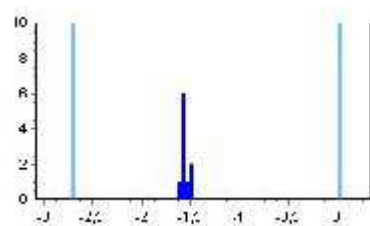


Obr.39 Měření hloubky cívkového prostoru (F)

Záznamy z měření rozměrů pro skupina č. 2

Tab. 21 Naměřené rozměry E

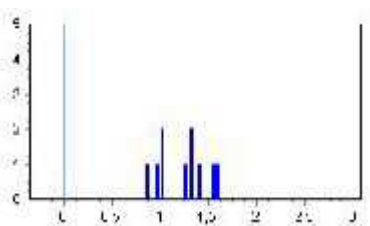
Nominál [mm]	11,000
Dolní mez [mm]	10,700
Horní mez [mm]	11,000
Mimo toleranci	0
Střední hodnota [mm]	10,830
Min...Max [mm]	10,824...10,838
Směrodatná odchylka	0,0043
C_{pk}	9,99



Obr.40 Graf naměřených rozměrů E

Tab. 22 Naměřené rozměry F

Nominál [mm]	7,300
Dolní mez [mm]	7,300
Horní mez [mm]	7,500
Mimo toleranci	0
Střední hodnota [mm]	7,391
Min...Max [mm]	7,364...7,418
Směrodatná odchylka	0,0185
C_{pk}	1,64

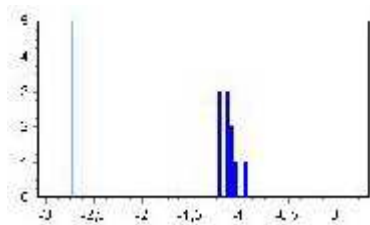


Obr.41 Graf naměřených rozměrů F

Záznamy z měření rozměrů pro skupina č. 5

Tab. 23 Naměřené rozměry E

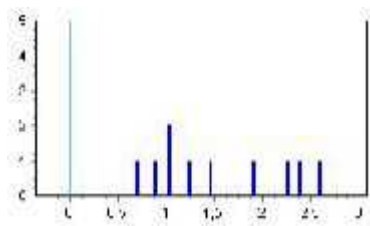
Nominál [mm]	11,000
Dolní mez [mm]	10,700
Horní mez [mm]	11,000
Mimo toleranci	0
Střední hodnota [mm]	10,880
Min...Max [mm]	10,869...10,897
Směrodatná odchylka	0,0088
C_{pk}	4,55



Obr.42 Graf naměřených rozměrů E

Tab. 24 Naměřené rozměry F

Nominál [mm]	7,300
Dolní mez [mm]	7,300
Horní mez [mm]	7,500
Mimo toleranci	0
Střední hodnota [mm]	7,414
Min...Max [mm]	7,352...7,490
Směrodatná odchylka	0,0500
C_{pk}	0,58



Obr.43 Graf naměřených rozměrů F

Tab. 25 Naměřené hodnoty rozměru

Skupina číslo 2			Skupina číslo 5		
Číslo jádra	E [mm]	F [mm]	Číslo jádra	E [mm]	F [mm]
1	10,828	7,364	1	10,884	7,440
2	10,832	7,371	2	10,869	7,407
3	10,828	7,377	3	10,869	7,490
4	10,828	7,375	4	10,871	7,466
5	10,831	7,392	5	10,880	7,474
6	10,837	7,398	6	10,879	7,391
7	10,829	7,414	7	10,878	7,352
8	10,828	7,418	8	10,882	7,376
9	10,838	7,403	9	10,897	7,365
10	10,824	7,398	10	10,888	7,376

Rozměrové výsledky testovaných jader

Z naměřených rozměrových protokolů je patrné, že při broušení feritových jader se dosahuje velmi úzkého rozptylu naměřených hodnot u celkové výšky jádra a rozdílných výsledků u rozměru hloubky cívkového prostoru. U celkové výšky je takto dobrých výsledků dosahováno díky tomu, že jsou broušeny obě dvě plochy broušeného jádra, jak dno tak styková plocha a tím pádem je rozdíl výšek jednotlivých jader dán pouze odchylkami danými rozdílnou silou brusného pásu při broušení dna jádra a konkávní křivostí magnetického stolu při broušení stykové plochy. Tyto rozdíly jsou pouze v rámci setin milimetrů a při dosažení rozdílu 0,08 mm se provádí zarovnání magnetického stolu, nebo výměna brousicího pásu.

Hloubka cívkového prostoru

Vyšší rozptyl hloubky cívkového prostoru je způsoben tím, že se tato hodnota měří vůči nabroušené stykové ploše, avšak dno cívkového prostoru broušené není. Proto se na výsledcích naměřených hodnot plně projeví deformace jádra z předešlých operací. Z naměřených hodnot je patrné, že u jader z prvních skupin je mnohem nižší rozptyl hloubky cívkového prostoru (cca 0,05 mm) naopak u jader z vyšších skupin je rozptyl naměřených hodnot mnohem vyšší (cca 0,14 mm). Takovýto rozptyl již vyžaduje pečlivé nastavení stroje takovým způsobem, aby ani žádné hodnoty nepřekračovaly limity rozměru. V případě, že by hloubka cívkového prostoru překročila dolní limit mohlo by to způsobit nemožnost namontování cívky do cívkového prostoru takového jádra, tím by se neuzavřel magnetický obvod a naměřená A_L hodnota by byla mimo toleranci (nízká).

5 Technicko-ekonomické zhodnocení

Z provedených experimentů je patrné, že před začátkem broušení při nastavování broušicího stroje si musí obsluha stroje namátkově vybrat větší množství jader, aby na nich mohla zkontrolovat deformaci a v případě deformovaných jader se rozhodla provést broušení dvěma průchody. Dále je z testu patrné, že hranice pro nabroušení jader prvním průchodem při dodržení dobré kvality je 0,20 mm. U deformace větší než je 0,20 mm již nelze spolehlivě zaručit, že bude jedním průchodem dostatečně kvalitně nabroušena A_L hodnota. U deformací větších než 0,40 mm již hrozí riziko, že nabroušený rozměr hloubky cívkového prostoru by mohl být mimo toleranci. Takto deformovaná jádra se však vyskytují v malém množství. Proto je menší pravděpodobnost, že budou při kontrole na broušicím stroji detekována. V rámci broušení těchto jader nelze z časových důvodů zkontrolovat větší množství na úskoky a A_L hodnoty nebo rozměry. Toto by vyřešilo zavedení mezioperační kontroly, která by po nabroušení jader zkontrolovala dostatečné množství a tím by byla odhalena jádra mimo toleranci. Takováto kontrola by byla zdlouhavá a nákladná. Před transportem jader z výrobního závodu všechny výrobní dávky prochází výstupní kontrolou, kde se výběr jader pro kontrolu vybírá dle výběrového plánu. Pro výrobní dávku jader P36, které má maximálně 10 000 ks se vybírá namátkově 80 kusů na provedení předepsaných kontrol. Pokud by výstupní kontrola našla jediné nevyhovující jádro nebo by výstupní C_{pk} na protokolu A_L hodnoty bylo nižší než 1 musí být tato výrobní dávka vrácena na opravu, nebo v nejhorším případě vyřazena. U jader která byla pouze broušena jedním průchodem lze opravu provést přebroušením, avšak pouze za podmínky dodržení rozměrů dle výkresu jádra. Pokud jádra nelze přebrousit jsou na pracovišti 100%-ního měření změřena všechna jádra z výrobní dávky a mimo tolerantní jádra jsou vyřazena. Tímto složitým způsobem je garantováno, že i při nízkém C_{pk} nejsou v dávce žádná jádra mimo toleranci. Po 100%-ním měření, nebo při broušení jader se vracejí jádra na výstupní kontrolu, kde jsou na nich opět provedeny všechny předepsané kontroly. Jak bylo již výše zmíněno hodnota C_{pk} může být nižší než 1 u parametrů, které byly 100%-ně rozměřeny. U oprav které se provádějí v rámci detekce výstupní kontroly se musí opakovat některé procesy, které byly na jádrech již jednou provedeny. Jako jsou např. broušení, optická kontrola a balení. Všechny tyto vícenáklady, které nejsou původně zakalkulovány musí firma platit ze svých zisků.

Tab. 26 Kalkulace

Granulát	46 %
Lisovna	7 %
Výpal	13 %
Broušení	12 %
Kontroly	1 %
Režijní náklady	6 %
Zisk	15 %

100%-ní měření	4 %
----------------	-----

V tabulce č. 26 je uvedena kalkulace nákladů na výrobu jádra P36, nejedná se o reálnou kalkulaci, hodnoty jsou záměrně pozměněny, protože se jedná o obchodní tajemství firmy EPCOS s.r.o., ze stejného důvodu zde nejsou ani uvedeny ceny za jednotlivé operace.

100%-ní měření není zahrnuto v nákladech na výrobu a v případě, že se jádra 100%-ně měří anebo brousí, jedná se o vícenáklady a snižuje se tím zisk firmy. V případě dvojího broušení a 100%-ního měření zároveň by byla již výroba ztrátová.

Cena broušení tohoto jádra každým průchodem je přibližně 12 % z ceny výrobku. Cena 100%-ního broušení je cca 5 % z ceny výrobku. V kalkulaci ceny výrobku je z tabulky č. 26 vidět, že se ze 100%-ním měřením výrobku nepočítalo a bylo zakalkulováno pouze broušení jedním průchodem. Při zakalkulování některé z těchto opravných operací by se snížil zisk firmy, nebo by musela být zvednuta cena výrobku.

U jader menších rozměrů je cena broušení nižší, protože se na brousící pás vejde více jader a tak je strojní čas využit pro výrobu více jader. Naopak u menších jader je vyšší cena 100%-ního měření, protože se menší jádra hůře skládají dohromady s cívkou a u nejmenších jader se s nimi musí manipulovat s použitím pinzet.

6 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zvýšit produktivitu při výrobě feritových jader ve firmě EPCOS s.r.o. U feritových jader musí být stykové plochy rovné, aby na sebe přesně dosedaly a nevznikala mezi nimi přitom vzduchová mezera, toto umožní dobré elektromagnetické parametry. Z různých důvodů při výrobě vznikají deformovaná jádra, ty jsme v experimentu rozdělili do kategorií podle velikosti deformace. Tato roztríděná jádra jsme nabrousili prvním průchodem brousicím stroje, tím se zarovnal dno. Následně jsme změřily A_L hodnoty, tím jsme zjistili potřebné elektromagnetické parametry. Po měření jsme provedli druhý průchod brousicím strojem, kde jsme feritová jádra nabrousili na požadovaný rozměr dle výkresu. Opět jsme změřili A_L hodnoty a následně jsme provedli i měření rozměrů. Rozměrové výsledky testovaných jader jsou díky nabroušení obou ploch jádra v toleranci (dno i styková plocha).

Produktivitu feritových jader při broušení by firma EPCOS s.r.o. mohla zvýšit buď zavedením dvojího broušení jako standardu, toto by ale také dvojnásobně zvýšilo časové vytížení stroje, ale hlavně by markantně zdražilo výrobu. Druhou možností by bylo zavedení 100%-ního měření, ale s tím by firma musela počítat dříve, než by začala jádra vyrábět. Muselo by se totiž vyrobit více kusů jader, aby při vyřazení vadných během 100%-ní kontroly zbyl dostatek jader pro pokrytí zakázky. Firma musí totiž splňovat dodávky objednaných kusů, nesmí se stát, že by zakázka nebyla dodána kompletně. S tímto zavedením 100%-ního měření by se zvýšily náklady o 5 % a už by se musely zakalkulovat do ceny. Tím, že by se zvýšily náklady, musela by být zvýšena cena výrobku, nebo snížen zisk firmy. Jako další možnost zvýšit produktivitu při výrobě feritových jader ve firmě EPCOS s.r.o. je to, že by si firma nechala vyrobit speciální brousicí stroj, který by splňoval oba dva brousicí průchody najednou. Takovýto stroj by byl ale značně nákladný a jeho návratnost by nebyla krátkodobá.

Seznam použitých pramenů

- [1] *Úvod: Fonox*. Šumperk : Pramet, 1988. 7 s.
- [2] EPCOS s.r.o. Šumperk : Feritová 1. *Leták firmy* 2007. 2 s.
- [3] FIBIGR, Jiří; ČECHOVÁ, Silvie; KNAPP, Aleš; et al. *ECHO „Vše, co byste měli vědět o Vaší firmě.“* Šumperk : EPCOS s.r.o., září 2011. 28 s.
- [4] TDK-EPC Corporation. Šumperk : EPCOS s.r.o., Feritová 1. *Vstupní prezentace 2010*. 2010. 31 s.
- [5] JANATA, Jaroslav. *Radioamatérský občasník* [online]. 2009 [cit. 2012-03-06].
Dostupný z WWW:
<http://www.ok1cjb.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=152:p-321&catid=26:katalogy&Itemid=34>.
- [6] DRÁPALA, Jaromír; KURSA, Miroslav. *Elektrotechnické materiály*. 1. vyd. Ostrava : 2010. 434 s.
- [7] Published by EPCOS AG. *Ferrites and Accessories*. Edition 09/2006 Data Book 2007
- [8] *Ferrites and accessories* [online]. 2006 [cit. 5. května 2012]. Dostupné na WWW:
<<http://www.epcos.com/web/generator/Web/Sections/ProductSearch/Keyword>>.
- [9] ŘASA, J.; GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3: Metody, stroje a nástroje pro obrábění I.díl*. 2.vyd., v Scientia, spol. s r.o., pedagogické nakladatelství. Praha : Scientia, 2005. 256 s. ISBN 80-7183-337-1
- [10] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2007. Dostupné na WWW: <<http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>>. ISBN 978-80-248-1505-3.

Na tomto místě bych ráda poděkovala všem, kteří byli nápomocni při vzniku této bakalářské práce. Děkuji především panu doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc. z katedry obrábění a montáže VŠB-TU Ostrava, za odborné vedení, cenné rady a připomínky k vypracování.

Dále děkuji vedení firmy Epos s.r.o. za umožnění zpracování bakalářské práce. Upřímné poděkování patří rovněž panu Filipu Dragounovi, vedoucímu procesní technologie-broušení ve firmě EPCOS s.r.o. za velikou ochotu, jeho čas a trpělivost kterou mi věnoval během přípravy bakalářské práce a za řadu hodnotných rad a námětů, které jsem využila při psaní této práce.